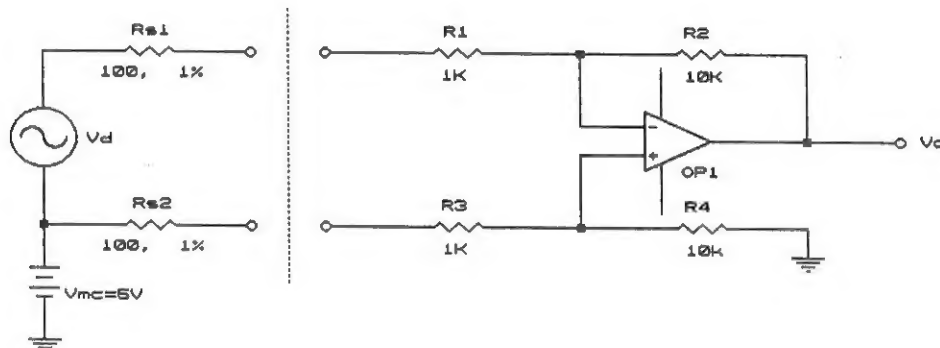


PROBLEMA 1

El circuit de la figura és un amplificador diferencial fabricat amb l'amplificador operacional $\mu A741$. Si el marge de temperatures de funcionament del circuit està comprès entre 0°C i 55°C , calculeu:

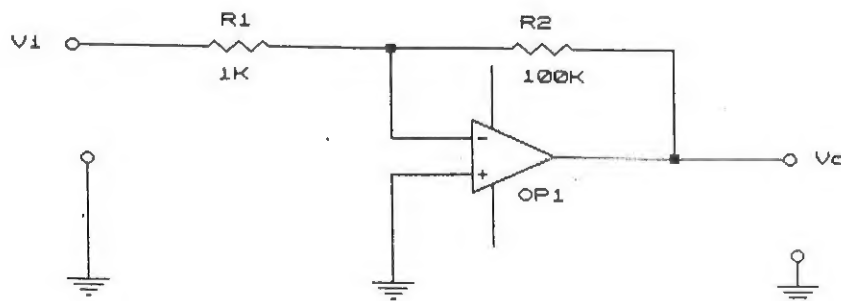
- Màxima tensió d'error que podem esperar a la sortida, d'aquí a 1 any, si la font d'alimentació és de $\pm 15\text{V}$ i té una deriva màxima de l'1%.
- Si a l'entrada apliquem un senyal diferencial amb una tensió en mode comú $V_{mc}=5\text{V}$ i el generador té una resistència de font per a cada entrada $R_s=100\Omega \pm 1\%$, calculeu la màxima tensió d'error que podem esperar a la sortida, deguda només al CMRR (els resistors tenen una tolerància de $\pm 1\%$).



PROBLEMA 2:

El següent amplificador es comporta com un circuit passa-baixes de primer ordre, amb una freqüència de tall de 10KHz . Si la seva temperatura de funcionament és de 27°C , calculeu:

- La tensió de soroll equivalent a l'entrada.
- Si a la seva entrada hi apliquem un senyal altern de valor eficaç de 5mV que porta associat un petit component de soroll, de manera que la seva relació senyal/soroll és $S/N=65\text{dB}$, calculeu la relació senyal/soroll del senyal que obtindrem a la sortida de l'amplificador.



Características de l'operacional $\mu A741$:

$$\begin{aligned}f_{cv} &= 200\text{Hz} \\f_{cl} &= 2\text{KHz} \\S_{v_n} &= 20\text{nV}/\text{Hz} \\S_{i_n} &= 0.55\text{pA}/\text{Hz} \\K &= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}\end{aligned}$$

$$V_{IO} = 6\text{mV} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = 15\mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$I_{IO} = 200\text{nA} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} = 500\text{pA}/^\circ\text{C}$$

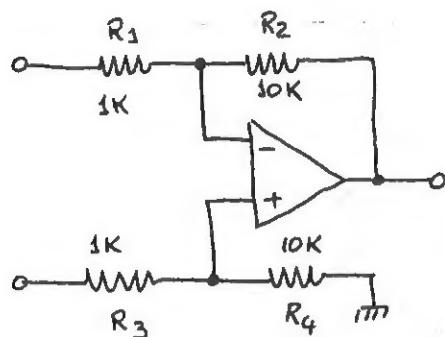
$$I_{IB} = 500\text{nA} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{IB}}{\Delta T} = 1\text{nA}/^\circ\text{C}$$

$$\text{PSRR} = 100\mu\text{V/V} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta t} = 10\mu\text{V/month}$$

PROBLEMA 1



a 25°C ; $V_{CC} = \pm 15V$

$$V_{IO} = 6 \text{ mV}$$

$$I_B = 500 \text{ nA}$$

$$I_{IO} = 200 \text{ nA}$$

$$\text{PSRR} = 100 \mu\text{V/V}$$

$$\text{CMRR} = 78 \text{ dB}$$

$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = 15 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta T} = 3 \text{ nA}/^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} = 500 \text{ pA}/^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta t} = 10 \mu\text{V}/\mu\text{s}$$

a) màxim error degut a offsets i derives

Calculen V_{IO}

$$\Delta T_{\text{màx}} = \left\{ \begin{array}{l} 25 - 0 = 25^\circ\text{C} \\ 55 - 25 = 30^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad |\Delta T_{\text{màx}}| = 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 12 \text{ mesos}$$

$$\Delta V_{CC} = \frac{\pm 1}{100} \times 30 \text{ V} = \pm 0,3 \text{ V}$$

$$\text{PSRR} = 100 \mu\text{V/V} \rightarrow \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta V_{CC}} = 100 \mu\text{V/V}$$

$$V_{IO_T} = V_{IO}|_{c.n} + \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} \cdot \Delta T + \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta t} \cdot \Delta t + \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta V_{CC}} \cdot \Delta V_{CC}$$

$$V_{IO_T} = 6 \text{ mV} + 15 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \cdot 30^\circ\text{C} + 10 \mu\text{V}/\mu\text{s} \cdot 12 \text{ mesos} + 100 \mu\text{V/V} \cdot 0,3 \text{ V} = 6,5346 \text{ mV}$$

Els corrents de polarització estan compensats, ja que $R_1 \parallel R_2 = R_3 \parallel R_4$

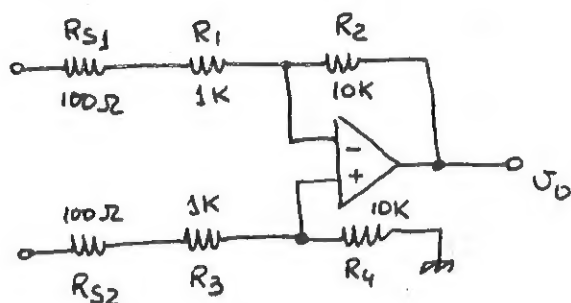
Calculen I_{IO}

$$I_{IO} = 200 \text{ nA} + 500 \text{ pA}/^\circ\text{C} \times 30^\circ\text{C} = 215 \text{ nA}$$

$$\text{finalment, } V_{OO} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{IO} + R_2 \cdot I_{IO}$$

$$\underline{\underline{V_{OO} = \left(1 + \frac{10\text{K}}{1\text{K}}\right) \cdot 6,5346 \text{ mV} + 10\text{K} \cdot 215 \text{ nA} = \pm 73,81 \text{ mV}}}$$

b) màxim error degut al CMRR



Tots els resistors $\pm 1\%$

$$\text{CMRR}_{\text{op}} = 78 \text{ dB} = 10^{78/20} = 7943,28$$

$$\text{CMRR}_R = \frac{1}{2} \frac{R_1 R_4 + R_2 R_3 + 2 R_2 R_4}{R_1 R_4 - R_2 R_3}$$

Suposem cas pitjor $R_1, R_4 \rightarrow \text{màxims}$; $R_2, R_3 \rightarrow \text{mínims}$

$$R_1 \text{ màx} = R_{S1} \text{ màx} + R_1 \text{ màx} = 100 (1 + 0,01) + 1000 (1 + 0,01) = 1111 \Omega$$

$$R_2 \text{ mín} = R_2 \text{ mín} = 10 \text{ K}\Omega (1 - 0,01) = 9900 \Omega$$

$$R_3 \text{ mín} = R_{S2} \text{ mín} + R_3 \text{ mín} = 100 (1 - 0,01) + 1000 (1 - 0,01) = 1089 \Omega$$

$$R_4 \text{ màx} = 10 \text{ K}\Omega (1 + 0,01) = 10100 \Omega$$

$$\text{CMRR}_R = \frac{1}{2} \frac{1111 \cdot 10100 + 9900 \cdot 1089 + 2 \cdot 9900 \cdot 10100}{1111 \cdot 10100 - 9900 \cdot 1089} = 252,25$$

Suposant R_1 i R_4 mínims i $R_2, R_3 \rightarrow \text{màxim}$

$$\text{CMRR}_R = \frac{1}{2} \frac{1089 \cdot 9900 + 10100 \cdot 1111 + 2 \cdot 10100 \cdot 9900}{1089 \cdot 9900 - 10100 \cdot 1111} = 252,25$$

són iguals.

$$\text{CMRR}_T = \text{CMRR}_{\text{op}} // \text{CMRR}_R = \frac{7943,28 \cdot 252,25}{7943,28 + 252,25} = 244,49$$

El guany diferencial és:

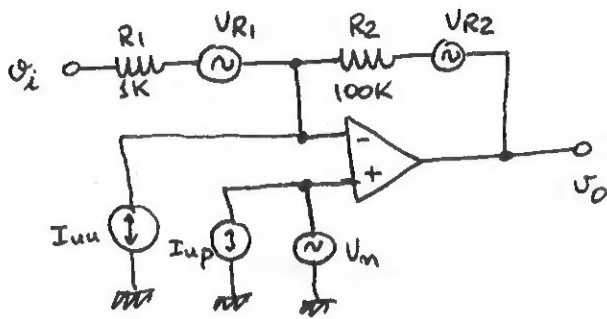
$$G_d = \frac{1}{2} \left[\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \right]$$

$$G_d = \frac{1}{2} \left[\frac{9900}{1111} + \left(1 + \frac{9900}{1111} \right) \left(\frac{10100}{1089 + 10100} \right) \right] = 8,9286$$

$$\text{finalment, } \underline{\underline{V_{O\text{error}}}} = G_d \cdot \frac{V_{\text{mc}}}{\text{CMRR}} = 8,9286 \cdot \frac{5 \text{ V}}{244,49} = \underline{\underline{\pm 182,6 \text{ mV}}}$$

PROBLEMA 2

circuit equivalent



$$f_{co} = 200 \text{ Hz}$$

$$f_{ci} = 2 \text{ kHz}$$

$$S_{\alpha_n} = 20 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$S_{i_u} = 0,55 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$NEB = 10 \text{ kHz} \times 1,57 = 15,7 \text{ kHz}$$

$$f_H = 15,7 \text{ kHz}$$

$$f_L \approx 0,01 \text{ Hz}$$

$$a) V_m = S_{\alpha_n} \left[f_{co} \ln \frac{f_H}{f_L} + (f_H - f_L) \right]^{1/2}$$

$$V_m = 20 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}} \left[200 \cdot \ln \frac{15700}{0,01} + (15700 - 0,01) \right]^{1/2} = 2,724 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$b) I_{iu} = I_{up} = S_{i_u} \left[f_{ci} \ln \frac{f_H}{f_L} + (f_H - f_L) \right]^{1/2}$$

$$I_{iu} = I_{up} = 0,55 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \left[2000 \ln \frac{15,700}{0,01} + (15,700 - 0,01) \right]^{1/2} = 115,67 \text{ pA}$$

$$c) V_{R_1} = \sqrt{4KTBR_1}$$

$$V_{R_1} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 15700 \cdot 10000} = 5,099 \cdot 10^{-7} \text{ V}$$

$$d) V_{R_2} = \sqrt{4KTBR_2}$$

$$V_{R_2} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 15700 \cdot 100000} = 5,099 \cdot 10^{-6} \text{ V}$$

$$1) V_{om}|_{V_{R_1}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{R_1} = \frac{100 \text{ K}}{1 \text{ K}} \cdot 5,099 \cdot 10^{-7} \text{ V} = 50,99 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$2) V_{om}|_{V_{R_2}} = V_{R_2} = 5,099 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$3) V_{Om} | V_m = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_m = \left(1 + \frac{100K}{1K}\right) \cdot 2,724 \mu V = 275,124 \mu V_{rms}$$

$$4) V_{Om} | I_{nn} = R_2 \cdot I_{nn} = 100K\Omega \cdot 115,67 pA = 11,567 \mu V_{rms}$$

$$5) V_{Om} | I_{up} = 0$$

$$V_{Om} = \sqrt{50,99^2 \mu V + 5,099^2 \mu V + 275,124^2 \mu V + 11,567^2 \mu V} = 280,1 \mu V_{rms}$$

com que el circuit és un amplificador inversor, de guany 100.

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i \rightarrow \underline{V_{im}} = \left| \frac{V_{Om}}{G} \right| = \frac{280,1 \mu V}{100} = \underline{2,801 \mu V_{rms}}$$

$$b) SNR_i = 65 dB = 20 \log \frac{5 mV_{rms}}{V_{mi, rms}}$$

$$V_{mi} = \frac{5 mV}{10^{\frac{65}{20}}} = 2,8117 \mu V_{rms}.$$

aleshores, el soroll a la sortida, degut a l'entrada serà

$$V_{no} = G \times V_{ni} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{ni} = 100 \cdot 2,8117 \mu V = 281,17 \mu V_{rms}$$

i el soroll total a la sortida, tenint en compte totes les fonts de soroll serà:

$$V_{Ou} = \sqrt{50,99^2 \mu V + 5,099^2 \mu V + 275,124^2 \mu V + 11,567^2 \mu V + 281,17^2 \mu V} = 396,87 \mu V_{rms}$$

finalment, el senyal a la sortida serà

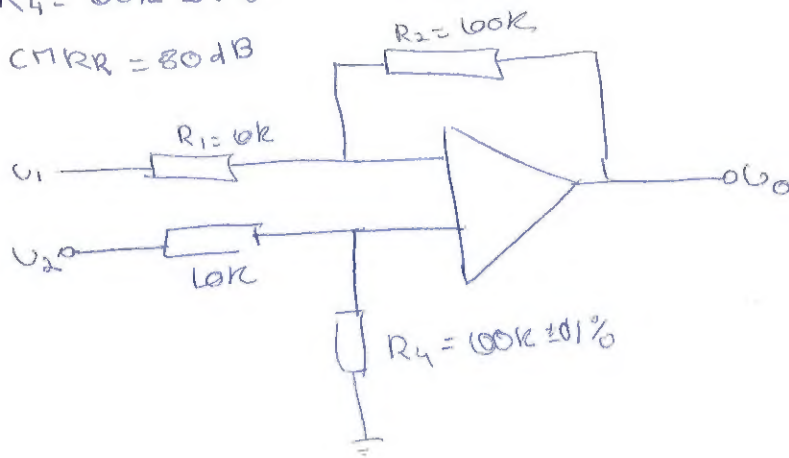
$$V_o = G \cdot V_i = 100 \cdot 5 mV = 500 mV_{rms}$$

i la relació S/N serà

$$\underline{SNR_o} = 20 \log \frac{500 mV}{396,87 \mu V} \approx \underline{62 dB}$$

$$R_4 = 100k \pm 1\%$$

$$CMRR = 80dB$$



$$100 \rightarrow 1$$

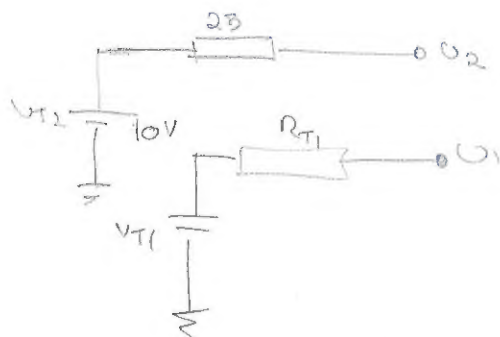
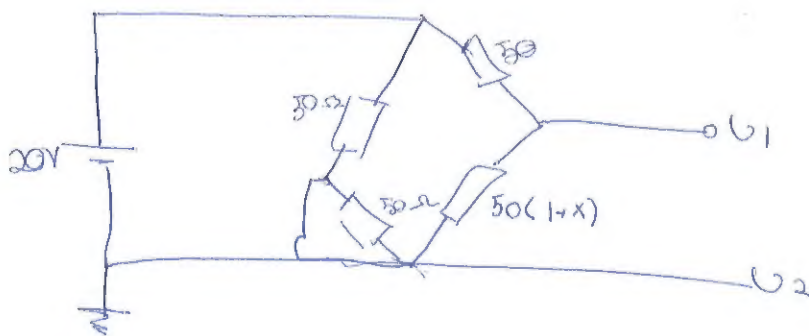
$$100k \rightarrow x$$

$$R_{4max} = 100.1k$$

$$CMRR_R = \frac{1}{2} \frac{10k \cdot 100.1k + 100k \cdot 10k + 2 \cdot 100k \cdot 100.1k}{10k \cdot 100.1k - 10k \cdot 100k} = 110105k$$

$$CMRR_{dB} = 80dB = 101k$$

$$\frac{1}{CMRR} = \frac{1}{110105k} + \frac{1}{10k} = \frac{1}{101822.06} \Rightarrow 5.24k = CMRR = 74.387$$



$$V_{T1} = \frac{50(1+x)20}{50(1+x) + 50}$$

$$R_{T1} = \frac{50 \cdot 50(1+x)}{50 + 50(1+x)}$$

$$B = 4000 \text{ K}$$

$$25^\circ \text{C} \rightarrow 298^\circ \text{K}$$

$$25^\circ \rightarrow 298^\circ \text{K}$$

$$0^\circ \rightarrow R = ?$$

$$0 \rightarrow 273^\circ \text{K}$$

$$50 \rightarrow R = ?$$

$$50 \rightarrow 323^\circ \text{K}$$

$$T_1 \quad R_{25} = 25 \text{ K} \cdot e^{4000 \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{298} \right)} = 85.461$$

$$T_2 \quad R_{(298)} = 25000$$

$$T_3 \quad R_{(323)} = 8846$$

$$R = \frac{25000(85.461 + 8846) + 2 \cdot 85.461 \cdot 8846}{85.461 + 8846 + 2 \cdot 25000} = 191082 \text{ K} \approx 191 \text{ K}$$

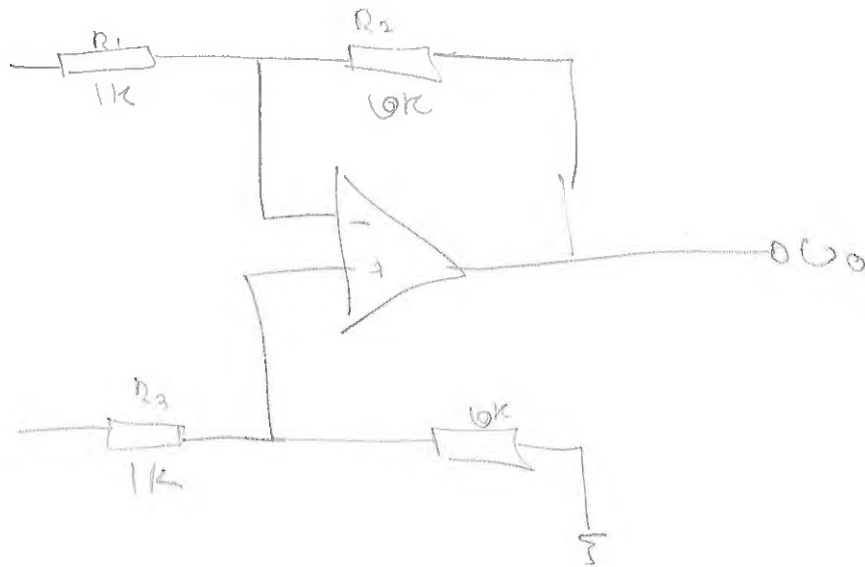
$$R_{eq1} = 85.461 / 19 \text{ K} = 15.6 \text{ K}$$

$$R_{eq2} = 10.8 \text{ K}$$

$$R_{eq3} = 6.04 \text{ K}$$

$$R_1 - R_2 = 418$$

$$R_2 - R_3 = 4176 \approx 418$$



$$U_o = U_o|_{25^{\circ}\text{C}} + \frac{\Delta U_o}{\Delta T} \Delta T + \frac{\Delta U_o}{\Delta t} \Delta t + \frac{\Delta U_o}{\Delta U_{cc}} \Delta U_{cc}$$

$$U_o = 6 \text{ mV}$$

$$\frac{\Delta U_o}{\Delta T} = 15 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \quad \Delta T = 30$$

$$\frac{\Delta U_o}{\Delta t} = 10 \mu\text{V}/\text{s} \quad \Delta t = 12 \text{ ms}$$

$$\frac{\Delta U_o}{\Delta U_{cc}} = 100 \mu\text{V}/\text{V} \quad \Delta U_{cc} = 30 \pm 1\% = 0.3$$

$$100 \rightarrow 1$$

$$30 \rightarrow 1$$

$$U_o = 6 \text{ mV} + 15 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \cdot 30 + 10 \mu\text{V}/\text{s} \cdot \sqrt{12 \text{ ms}} +$$

Error total = error absolut = E_a = valor obtenido - valor ideal

$$\text{Error relatiu.} = E_r = \frac{E_a}{\text{valor ideal}}$$

$$V_O = G V_i + \left(1 + \frac{R_f}{R_p}\right) V_{LO} + R_f I_B \quad (\text{no compensat})$$

$$V_{OC} = G V_i + \left(1 + \frac{R_f}{R_p}\right) V_{LO} + R_f I_{is} \quad (\text{compensat})$$

$$V_{LO} = \left[V_{LO}|_{25^\circ\text{C}} + \frac{\Delta V_{LO}}{\Delta T} \Delta T + \frac{\Delta V_{LO}}{\Delta t} \Delta t + \frac{\Delta V_{LO}}{\Delta V_{CC}} \Delta V_{CC} \right]$$

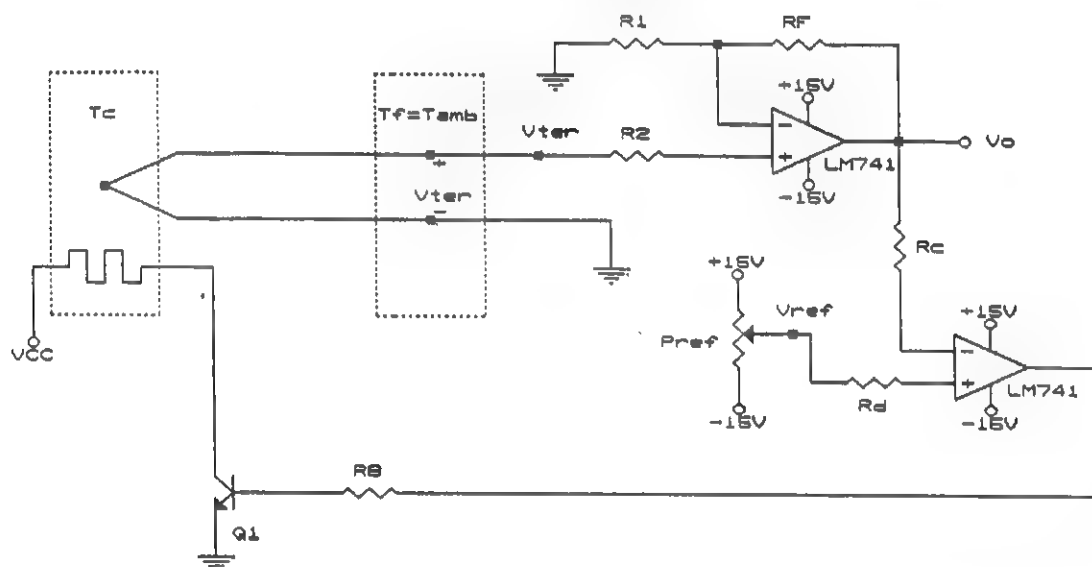
$$\text{CMRR} = \frac{G_d}{G_{md}} [\text{dB}]$$

$$V_{O\text{error}} = G_d \frac{V_{cm}}{\text{CMRR}}$$

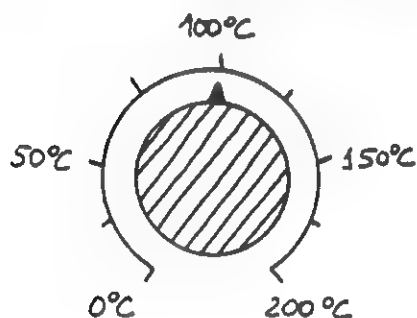
PROBLEMA 1 (3.5 punts)

El següent esquema correspon a un circuit de control de la temperatura d'un forn que s'ha dissenyat a partir d'un termoparell linealitzat. Aquest termoparell té una sensibilitat de $39\mu\text{V/K}$.

$$V_{\text{ter}} = 39\mu\text{V/K} \cdot [T_{\text{unió-calenta}}(\text{K}) - T_{\text{unió-freda}}(\text{K})] \quad (\text{NOTA: } K = ^\circ\text{C} + 273).$$



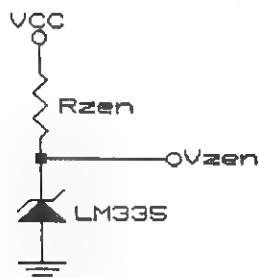
El control de la temperatura del forn es fa a través del potenciòmetre Pref. Per calibrar el circuit s'ha fixat la temperatura de la unió freda (T_F) a 0°C , i s'ha anat marcant la caràtula del potenciòmetre mesurant la temperatura del forn (T_C) amb un termòmetre de precisió ($T_{\text{mín}} = 0^\circ\text{C}$ i $T_{\text{màx}} = 200^\circ\text{C}$).



a) Dissenyeu R_1 , R_2 i R_F per obtenir $V_O = +5\text{V}$ quan $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = 0^\circ\text{C}$. (0.5p)

b) Calculeu V_O si $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$. Doneu l'error relatiu de V_O . (0.5p)

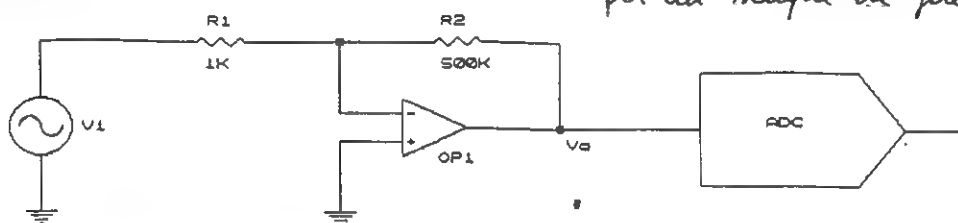
c) Quant valdrà V_{REF} si hem posicionat el mando del forn a 125°C , i la $T_{\text{amb}} = 28^\circ\text{C}$. A quina temperatura estarà el forn, i quin error relatiu estarem fent? (1p)



d) Dissenyeu un circuit, a partir del sensor monolític de temperatura LM335 (Sensibilitat $= 10\text{mV}/^\circ\text{C}$, a partir de 0°C), que serveixi per compensar la temperatura de la unió freda. Verifiquen el seu bon funcionament amb les dades de l'apartat anterior. (1.5p)

PROBLEMA 2 (3.5 punts)

S'ha dissenyat un amplificador per a un micròfon, de tal manera que es compleixi que $DR_{ADC} = SNR(V_o)$ per un senyal de fons d'escala



Suposant que:

- * V_i és una ona sinusoidal de 10mVp d'amplitud màxima
- * el convertidor analògic/digital de 10bits és de tipus bipolar, amb $V_{FE} = \pm 5V$ i un error total no ajustat $e_{int} = \pm 1LSB$
- * el circuit es comporta amb una resposta passa-baixes de 1r ordre en una banda de freqüències entre 0.01Hz i 20KHz
- * el circuit està funcionant a una temperatura de 27°C (300K):

a) Calculeu la relació senyal/soroll del senyal V_i que entra a l'amplificador. (3p)

b) Calculeu la relació senyal/soroll a la sortida del convertidor A/D. (0.5p)

Característiques de l'amplificador operacional: $f_{cv} = 200Hz$ $f_{ci} = 1KHz$ $Sv_n = 25nV/\sqrt{Hz}$
 $Si_n = 0.5pA/\sqrt{Hz}$ $K = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$

PROBLEMA 3 (3 punts)

Volem adquirir un senyal del qual sabem que la seva tensió estarà compresa entre 0 i 5V, i el seu Slew Rate màxim és $SR = 0.5V/\mu s$.

Suposant que tenim una família de convertidors A/D amb les característiques següents:

	bits	e_{int}	t_c
ADC1	8	$\pm 1LSB$	20 μs
ADC2	10	"	30 μs
ADC3	12	"	40 μs
ADC4	14	"	50 μs

a) Si pretenem obtenir una resolució igual o superior a 1.5mV, quin convertidor haurem d'utilitzar? (0.5p)

b) Quin serà el marge dinàmic del convertidor? (0.5p)

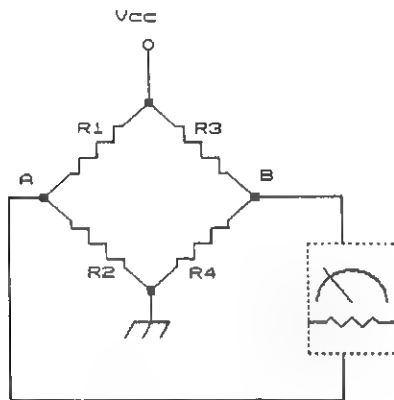
c) Farà falta inserir-hi un amplificador de mostreig i retenció? En cas afirmatiu, quin serà el màxim temps d'obertura que haurà de tenir, si volem que l'error degut a la variació del senyal d'entrada durant la conversió sigui inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

d) Suposant uns corrents totals de pèrdues de 10nA a través del S/H en estat de retenció, quina serà la mínima capacitat que haurà de tenir el condensador de retenció per tal de mantenir l'error degut a les fuites en mode de retenció inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

e) Suposant que el S/H tingui un temps d'adquisició $t_a = 1\mu s$ i un temps d'establiment $t_s = 0.5\mu s$, suposant que el temps d'adquisició de les dades per part del microprocessador sigui $t_{\mu p} = 4\mu s$, i suposant que el senyal d'entrada sigui sinusoidal pur, calculeu la màxima freqüència de mostreig per tal de complir totes les especificacions anteriors. (1p)

PROBLEMA 4 (4 punts)

El pont de Wheatstone següent està alimentat amb una tensió de +5,00V, i el valor dels resistors és:



$$R_1 = 1,2\text{K}\Omega$$

$$R_2 = 3,6\text{K}\Omega$$

$$R_3 = 12,6\text{K}\Omega$$

$$R_4 = 8,4\text{K}\Omega$$

Dispossem de dos instruments de bobina mòbil:

Instrument "A": sensibilitat = $0,1\text{mm}/\mu\text{A}$ $R_g = 1,8\text{K}\Omega$

Instrument "B": sensibilitat = $0,2\text{mm}/\mu\text{A}$ $R_g = 6\text{K}\Omega$

a) Calculeu en quin instrument l'agulla es desviarà més. (1 p)

b) Suposant que s'hagin calculat uns errors en els equivalents Thévenin:

$$e_a(R_{th}) = \pm 170\Omega$$

$$e_a(V_{th}) = \pm 0,2\text{V}$$

i que les resistències internes dels instruments presenten una tolerància:

$$e_r(R_g)(\text{instr. "A"}) = \pm 2,5\%$$

$$e_r(R_g)(\text{instr. "B"}) = \pm 2\%$$

indiqueu la lectura de cada instrument (calculeu-ho pels dos mètodes). (2 p)

c) Si les derives tèrmiques dels diversos components són:

$$\frac{\Delta V_{CC}}{\Delta T} = +750 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$$

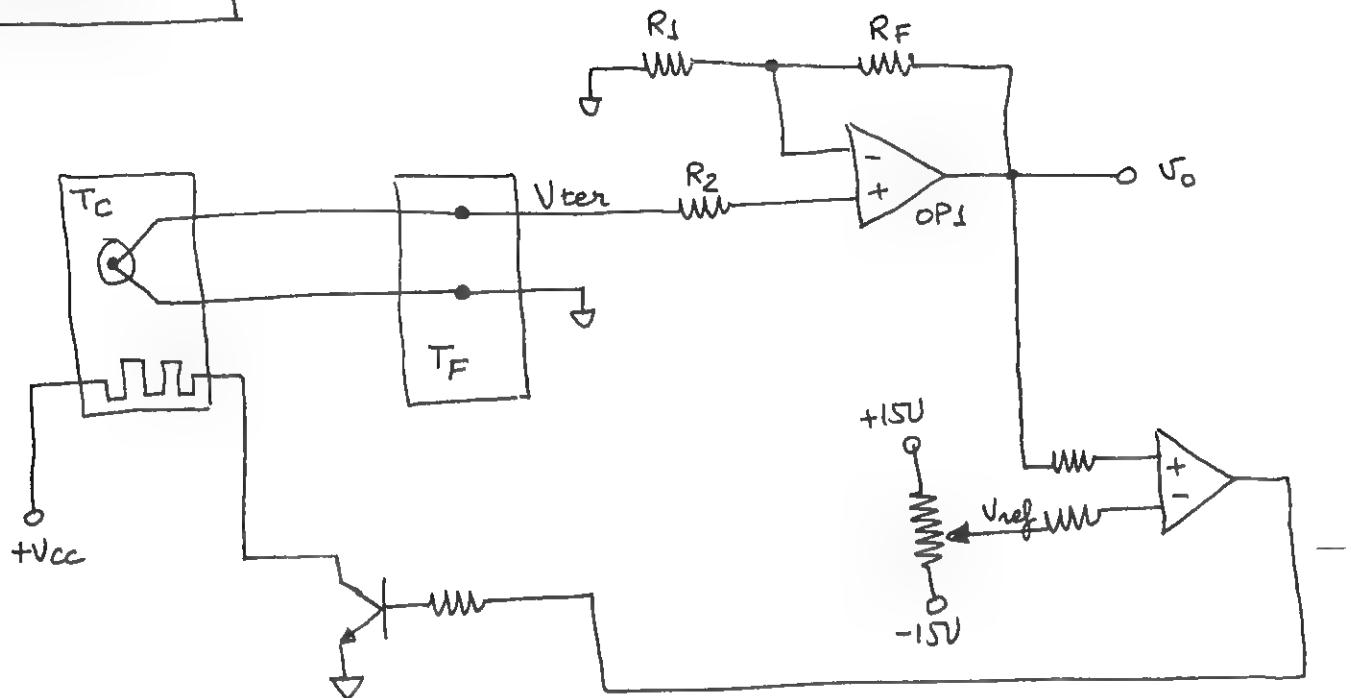
$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = +200 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \quad (R_1, R_2, R_3)$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = -300 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \quad (R_4)$$

Quin error relatiu tindrem a la sortida, si l'increment de temperatura és de 25°C . (1 p)

PROBLEMA - 1

FJUL96 - 1



a) Dissenyen R_1 , R_2 i R_F per obtenir $V_o = +5V$ quan $T_c = 200^\circ C$ i $T_F = 0^\circ C$

$$V_{O_{200^\circ C}} = +5V = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \cdot V_{ter_{200^\circ C}}$$

$$V_{ter} = 39 \mu V/K \left((200 + 273) - (0 + 273) \right) = 7,8 mV$$

$$\left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \cdot 7,8 mV = +5V$$

$$\frac{R_F}{R_1} = \frac{5V}{7,8 mV} - 1 \approx 640$$

Si $R_1 = 1K\Omega$, aleshores $R_F = 640K\Omega$.

$$R_2 = R_1 \parallel R_F \approx 1K\Omega$$

b) Calculen V_o si $T_c = 200^\circ C$ i $T_F = 25^\circ C$. Error relatiu de V_o

$$\underline{V_o} = 39 \mu V \cdot (200 - 25) \cdot \left(1 + \frac{640}{1}\right) = \underline{4,3748V}$$

$$e_r(V_0) = \frac{V_m - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\underline{e_r(V_0) = \frac{4,3748 - 5}{5} \times 100\% = -12,5\%}$$

c) quant valdrà V_{ref} si $u_{ando} = 125^\circ\text{C}$ i $T_{amb} = 28^\circ\text{C}$. $T_c?$ i $e_r(T_c)?$

V_{ref} l'hem ajustat quan $T_F = 0^\circ\text{C}$, per tant, si el mando està a 125°C , correspon a una temperatura de $T_c = 125^\circ\text{C}$ i $T_F = 0^\circ\text{C}$

$$\underline{V_{ref, 125^\circ\text{C}} = 39\mu\text{V} (125 - 0) \cdot 641 = 3,1249\text{V}}$$

En canvi, com que $T_F = 28^\circ\text{C}$, la temperatura del foru serà:

$$V_0 = V_{ref, 125^\circ\text{C}}$$

$$3,1249 = 39\mu\text{V} (T_c(?) - 28^\circ\text{C}) \cdot 641$$

$$\underline{T_c = \frac{3,1249\text{V}}{641 \cdot 39\mu\text{V}} + 28^\circ\text{C} = 153^\circ\text{C}}$$

$$\underline{e_r(T_c) = \frac{153 - 125}{125} \times 100\% = +22,4\%}$$

d) Dissenyar un circuit de compensació de la unió freda.

Hem d'obtenir un circuit que afegeixi a V_{ter} la sortida equivalent del termoparell per unes temperatures ($T_c = T_{amb}$, $T_F = 0^\circ\text{C}$).

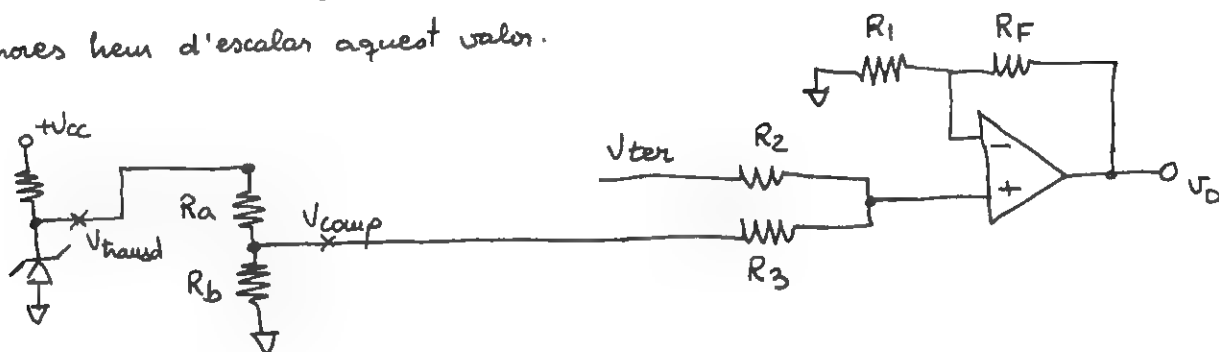
Aquesta tensió de compensació serà:

$$V_{comp} = 39\mu\text{V} \cdot (T_{amb} - 0) = 39\mu\text{V} \cdot T_{amb}$$

Si tenim un transductor LM335 que ofereix a la sortida

$$V_{\text{transd}} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \cdot T_{\text{amb}}$$

aleshores hem d'escalar aquest valor.



$$V_{\text{comp}} = V_{\text{transd}} \cdot \frac{R_b}{R_a + R_b} ; \quad 39 \mu\text{V} \cdot T_{\text{amb}} = 10 \text{ mV} T_{\text{amb}} \cdot \frac{R_b}{R_a + R_b}$$

$$3,9 \text{ m} (R_a + R_b) = R_b \cdot$$

$$R_a = \frac{R_b (1 - 0,0039)}{0,0039} = 255,4 R_b.$$

Si fem $R_b = 1 \text{ k}\Omega$, $R_a = 255,4 \text{ k}\Omega$

Per minimitzar els coneixos de polarització hauríem de fer:

$$R_1 \parallel R_F = R_2 \parallel (R_3 + \underbrace{R_a \parallel R_b}_{\approx 1 \text{ k}\Omega}) \approx 1 \text{ k}\Omega$$

$\underbrace{\quad}_{2 \text{ k}\Omega} \quad \underbrace{\quad}_{1 \text{ k}\Omega} \quad \underbrace{\quad}_{\approx 1 \text{ k}\Omega}$

així doncs, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_F = 640 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$
 $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$; $R_a = 255,4 \text{ k}\Omega$; $R_b = 1 \text{ k}\Omega$

verifiquem el circuit.

$$V_{\text{ter}} = 39 \mu\text{V} (125^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}) = 3,783 \text{ mV} \quad (\text{Si el foru està a } 125^{\circ}\text{C} \text{ i } T_{\text{amb}} = 28^{\circ}\text{C}).$$

$$V_{\text{comp}} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \cdot 28^{\circ}\text{C} \cdot \frac{1}{1 + 255,4} = 1,092 \text{ mV} \quad (\text{Si } T_{\text{amb}} = 28^{\circ}\text{C})$$

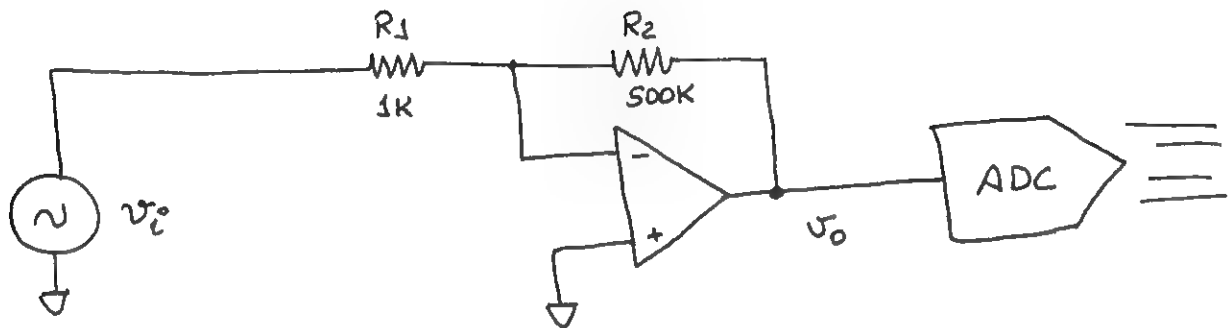
$$V_0 = \left(1 + \frac{640}{1}\right) \cdot (3,783 + 1,092) \text{ mV} = \boxed{3,1249 \text{ V}}$$

que és la mateixa $V_{\text{ref } 125^{\circ}\text{C}}$ (q.e.d.)



PROBLEMA 2

FJUL96 - 4



v_i = una sinusoidal de 10 mVp

ADC \Rightarrow bipolar amb $V_{FE} = \pm 5V$

10 bits

$e_{tma} = \pm 1LSB$

1) Calcular la SNR (v_i)

* a) Trobem DR_{ADC}

$$DR_{ADC} = 20 \log \frac{V_{FE}}{v_{m_{rms}}}$$

$$e_{t_{ADC}} = \pm \underbrace{[0,5]}_{e_q} + \underbrace{1}_{e_{tma}} = \pm 1,5LSB \rightarrow 3 * e_q$$

$$v_{m_{ADC}} = 3 * v_{mq} = 3 * \frac{q}{\sqrt{12}} = 3 * \frac{V_{FE}}{2^N \sqrt{12}} v_{rms}$$

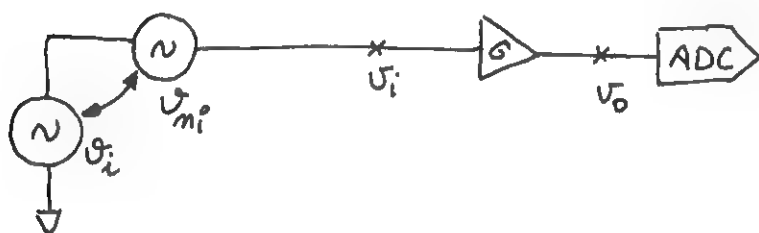
$$\left[v_{m_{ADC}} = 3 \cdot \frac{10V}{2^{10} \sqrt{12}} = 8,4573 mV_{rms} \right] \text{ 2u apartat}$$

$$\underline{\underline{DR_{ADC}}} = 20 \log \frac{V_{FE}}{\frac{3 \cdot V_{FE}}{2^N \sqrt{12}}} = 20 \log \frac{2^N \sqrt{12}}{3} = \underline{\underline{63,455dB}}$$

Per tant, $SNR(v_o) = DR_{ADC} = 63,455dB$

aquest seria el soroll total intrínsec a la sortida de l'amplificador. Per saber el soroll total només caldria afegir-li el soroll corresponent a la font v_i i als cables i connexions d'entrada, v_{ni}

$$V_o|_{v_{ni}} = v_{ni, rms} * G = \frac{500}{1} \cdot v_{ni} = 500 v_{ni}$$



així doncs, el soroll total a la sortida de l'amplificador seria:

$$V_o = \left[2,322^2 \mu V + 53,83^2 \mu V + 360,5^2 \mu V + 16,12^2 \mu V + (500 v_{ni})^2 \right]^{1/2}$$

c) Trobem V_o

Si $SNR(V_o) = 61,455 \text{ dB}$, aleshores

$$61,455 \text{ dB} = 20 \log \frac{V_o, rms}{V_o, rms}$$

$$V_o, rms = G * v_{i, rms} = \frac{500K}{1K} \cdot \underbrace{\frac{10 \mu V_p}{\sqrt{2}}}_{v_{i, rms}} = 3,5355 V, rms$$

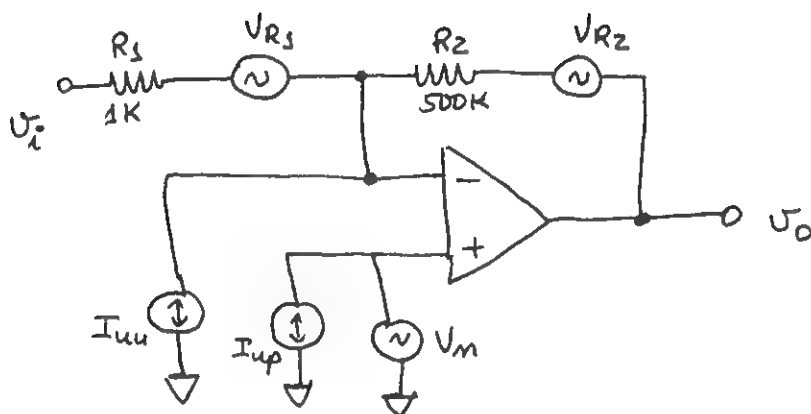
$$61,455 \text{ dB} = 20 \log \frac{3,5355 V}{V_o, rms}$$

$$V_o, rms = \frac{3,5355 V}{10^{\frac{61,455}{20}}} = 2,99 \text{ mV}, rms$$

Per tant,

$$2,99 \mu V = \left[2322^2 \mu V + 53,83^2 \mu V + 360,5^2 \mu V + 16,12^2 \mu V + (500 v_{ni})^2 \right]^{1/2}$$

b) Trouver U_{Om}



$$\begin{aligned} f_{cu} &= 200 \text{ Hz} \\ f_{ci} &= 1 \text{ KHz} \\ S_{U_u} &= 25 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}} \\ S_{I_u} &= 0,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \end{aligned}$$

circuit de 1^{er} ordre \rightarrow $f_H = 20 \text{ KHz} \times 1,57 = 31,4 \text{ KHz}$ -
 $f_L = CC \approx 0,01 \text{ Hz}$

$$U_m = 25 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}} \cdot \left[200 \cdot \ln \frac{31,4 \text{ K}}{0,01} + 31400 - 0,01 \right]^{1/2} = 4,636 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$I_{iu} = I_{up} = 0,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}} \left[1000 \ln \frac{31,4 \text{ K}}{0,01} + 31400 - 0,01 \right]^{1/2} = 107,66 \text{ pA}_{\text{rms}}$$

$$V_{R1} = \left[4 * 1,38 \cdot 10^{-23} * \underbrace{300}_{27^\circ\text{C}} * \underbrace{31400}_{\text{BW}} * \underbrace{1000}_{R_1} \right]^{1/2} = 0,721 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$V_{R2} = \left[4 * 1,38 \cdot 10^{-23} * 300 * 31400 * 500000 \right]^{1/2} = 16,12 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$U_o|_{U_m} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_m = \left(1 + \frac{500}{1} \right) \cdot 4,636 \mu\text{V} = 2,322 \text{ mV}_{\text{rms}}$$

$$U_o|_{I_{iu}} = R_2 \cdot I_{iu} = 500.000 \cdot 107,66 \text{ pA} = 53,83 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$U_o|_{I_{up}} = 0$$

$$U_o|_{R_1} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{R1} = \frac{500}{1} \cdot 0,721 \mu\text{V} = 360,5 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$U_o|_{V_{R2}} = V_{R2} = 16,12 \mu\text{V}_{\text{rms}}$$

$$U_{Om} = \sqrt{2,322^2 \text{ mV} + 53,83^2 \mu\text{V} + 360,5^2 \mu\text{V} + 16,12^2 \mu\text{V}} \quad (\text{soit intin a la sortid})$$

$$(500 \sigma_{ni})^2 = 2,99^2 \mu V - (2322^2 \mu V + 53,85^2 \mu V + 350,6^2 \mu V + 16,12^2 \mu V)$$

$$\sigma_{ni} = 3,7 \mu V_{rms}$$

finalment,

$$SNR(\sigma_i) = 20 \log \frac{\sigma_{i rms}}{\sigma_{ni rms}} = 20 \log \frac{10 mV_p / \sqrt{2}}{3,7 \mu V_{rms}} = 65,63 \text{ dB}$$

$$SNR(\sigma_i) = 65,63 \text{ dB}$$

2) Calculem SNR a la sortida del convertidor

$$SNR_{ADC} = 20 \log \frac{\sigma_{o rms}}{\sigma_{a rms}}$$

en l'apartat anterior hem trobat que $\sigma_{o rms} = 8,4573 \text{ mV}_{rms}$

$$\sigma_{o rms} = G * \sigma_{i rms} = 500 \cdot \frac{10 mV_p}{\sqrt{2}} = 3,5355 \text{ V}_{rms}$$

$$SNR(ADC) = 20 \log \frac{3,5355 \text{ V}}{8,4573 \text{ mV}} = 52,42 \text{ dB}$$

$$SNR(ADC) = 52,42 \text{ dB}$$

PROBLEMA-3

FJUL96-8

a) si volem resolució $\leq 1,5 \text{ mV}$, escollim el convertidor

$$q = \frac{V_{FE}}{2^n} \leq 1,5 \text{ mV}$$

$$\frac{5V}{2^n} \leq 1,5 \text{ mV} \rightarrow 2^n \geq \frac{5V}{1,5 \text{ mV}} = 3333,3$$

$$n \geq \frac{\log 3333,3}{\log 2} = 11,70 \text{ bits.}$$

per tant, escollirem el convertidor de 12 bits,

i la resolució serà $q = \frac{5V}{2^{12}} \approx 1,22 \text{ mV}$

b) Range dinàmic del convertidor

$$DR = 20 \log \frac{V_{FE}}{V_{m, rms}}$$

$$e_t = \pm [e_q + e_{t, ma}] = \pm [0,5 \text{ LSB} + 1 \text{ LSB}] = \pm 1,5 \text{ LSB}$$

$$V_{m, q} = \frac{q}{\sqrt{12}} \quad \text{si } e_t = 3 \times e_q, \text{ aleshores}$$

$$V_{m, t} = 3 \times \frac{q}{\sqrt{12}} = \frac{3 V_{FE}}{2^n \sqrt{12}}$$

$$DR = 20 \log \frac{V_{FE}}{\frac{3 V_{FE}}{2^n \sqrt{12}}} = 20 \log \frac{2^n \sqrt{12}}{3} = \boxed{73,5 \text{ dB}}$$

c) Fa falta un S/H? Quant val t_{ap} ?

$$\therefore \text{L'error total és } e_t = \pm 1,5 \text{ LSB} = \pm 1,5 \times \frac{5V}{2^{12}} = \pm 1,831 \text{ mV}.$$

Per tant, la màxima variació del senyal d'entrada durant t_c hauria de ser inferior o igual a aquest valor d' e_t . Comprovem-ho.

$$\underbrace{\left. \frac{dV_i}{dt} \right|_{\max}}_{\text{S.R}} \times t_c \leq \pm 1,831 \text{ mV}.$$

$$\text{S.R} = 0,5V/\mu s$$

$$\pm 0,5V/\mu s \cdot 40\mu s \leq \pm 1,831 \text{ mV}$$

$$20V \leq 1,831 \text{ mV} \rightarrow \underline{\text{no}} \text{ es compleix.}$$

Per tant es necessita un amplificador S/H.

$$0,5V/\mu s \cdot t_{ap} \leq 1,831 \text{ mV}$$

$$\underline{\underline{t_{ap}}} \leq \frac{1,831 \text{ mV}}{0,5V/\mu s} = 3,662 \text{ ms} = \underline{\underline{3,662 \cdot 10^{-3} \text{ s}}}$$

d) Mínima capacitat del condensador de retenció'

$$\text{Volem que } \frac{\Delta V_{\max}}{\Delta t_c} \leq \frac{1}{C_H} \cdot I_{\text{pèrdues}}.$$

$$\frac{1,831 \text{ mV}}{40\mu s} \leq \frac{30 \text{ mA}}{C_H} \quad ; \quad C_H \geq \frac{30 \text{ mA} \cdot 40\mu s}{1,831 \text{ mV}}$$

$$\underline{\underline{C_H \geq 0,258 \text{ mF}}}$$

e) Màxima freqüència del senyal d'entrada.

limitació freqüència senyal entrada $\begin{cases} \rightarrow \text{Nyquist} \\ \rightarrow \text{slew Rate} \end{cases}$

Nyquist

en primer lloc calculem la màxima freq. de mostreig.

$$\text{temps adquisició} = t_{adq} = t_a + t_{ap} + t_s + t_c + t_{up} = 1\mu s + 3,6ms + 0,5\mu + 40\mu + 4\mu \approx 45,5\mu s$$

$$F_{s_{\max}} = \frac{1}{t_{adq}} = \frac{1}{45,5\mu s} \approx 21.978 \text{ Hz}$$

$$\text{per tant, } f_{i_{\max}} = \frac{1}{2} F_{s_{\max}} = \frac{21.978}{2} = \underline{10.989 \text{ Hz}}$$

Slew Rate

$$v_i(t) = 2,5 + 2,5 \sin 2\pi f t.$$

$$\text{S'ha de complir: } \left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\max} \cdot t_{ap} \leq e_t$$

$$\left. \frac{dv_i}{dt} \right|_{\max} = \left. \frac{d(2,5 + 2,5 \sin 2\pi f t)}{dt} \right|_{\max} = \pm 2,5 \cdot 2\pi f = \pm 5\pi f.$$

$$5\pi f \cdot t_{ap} \leq 1,831 \text{ mV}$$

$$f_i \leq \frac{1,831 \text{ mV}}{5 \cdot \pi \cdot 3,662 \text{ ms}} = 31.831 \text{ Hz}$$

$$\text{Nyquist} \rightarrow f_{i_{\max}} = 10.989 \text{ Hz}$$

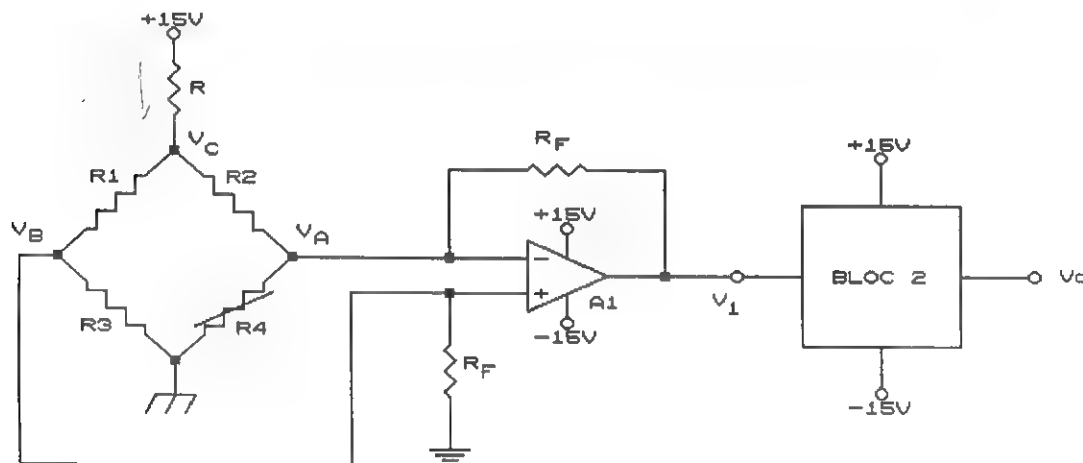
$$\text{slew Rate} \rightarrow f_{i_{\max}} = 31.831 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow f_{i_{\max}} = 10.989 \text{ Hz}$$

$$\boxed{f_{i_{\max}} = 10.989 \text{ Hz}}$$

PROBLEMA 1

Una galga extensomètrica està muntada en el següent circuit condicionador de senyal:



Per evitar problemes d'autoescalfament, i per fer treballar la galga de manera òptima, fixem $I_g = 10\text{mA}$.

Els demés components del pont de Wheatstone són:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_0 = 120\Omega$$

$$R_4 = \text{galga extensomètrica} = R_0(1 + \alpha)$$

$$\text{on } R_0 = 120\Omega \text{ a } 25^\circ\text{C i sense cap deformació}$$

$$K_{\text{galga}} = 2$$

Amb aquest circuit pretenem mesurar deformacions compreses entre els marges de $0\mu\epsilon$ i $1000\mu\epsilon$, de manera que:

$$\text{Per } 0\mu\epsilon, \text{ aleshores } V_1 = 0\text{V i } V_0 = -5\text{V}$$

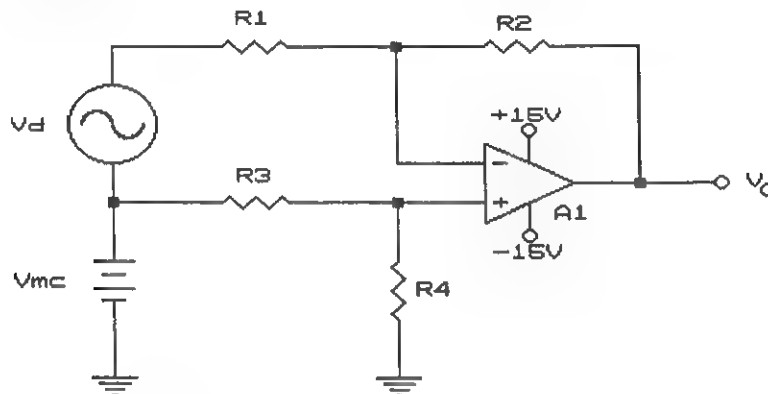
$$1000\mu\epsilon, \text{ aleshores } V_1 = -1\text{V i } V_0 = +5\text{V}$$

a) Trobeu els valors de R i R_F que permeten obtenir el marge de tensions V_1 citat anteriorment (NOTA: considereu A1 com un amplificador diferencial ideal, amb $R_1 = R_3$ i $R_2 = R_4$)

b) Dissenyeu el BLOC 2 que permeti obtenir el marge de sortida V_0 desitjat, tenint en compte que només disposem d'una font d'alimentació que proporciona una sortida simètrica de $\pm 15\text{V}$.

PROBLEMA 2:

Un transductor que presenta una sortida diferencial de valor V_d superposada amb una tensió en mode comú V_{mc} es connecta a un amplificador diferencial A1. Si considerem negligible la resistència de sortida del transductor en front de les demés resistències, i els valors dels components següents:



$$R1, R3 = 10K\Omega$$

$$R2, R4 = 200K\Omega$$

A1 = Amplificador operacional OP07, amb els següents paràmetres:

$$PSRR = 150\mu V/V$$

$$V_{IO} = 6mV \text{ a } 25^\circ C$$

$$I_{IO} = 200nA \text{ a } 25^\circ C$$

$$I_{IB} = 500nA \text{ a } 25^\circ C$$

$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = 30\mu V/^\circ C$$

$$\frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} = 2nA/^\circ C$$

$$\frac{\Delta I_{IB}}{\Delta T} = 5nA/^\circ C$$

Calculeu:

- Màxima tensió d'error que podem esperar a la sortida, sense ajustar l'offset, a $35^\circ C$ de temperatura ambient, si la tensió d'entrada és $V_d=0V$ i la tensió d'alimentació és $V_{cc}=\pm 15,0V$.
- Suposant que haguem compensat la tensió d'offset a $15^\circ C$ de temperatura ambient, de manera que $V_o=0$ quan $V_d=0V$ i $V_{cc}=\pm 15,0V$, trobeu la màxima tensió d'error que podem esperar a la sortida, si la temperatura ambient pot variar entre $0^\circ C$ i $40^\circ C$, i la tensió d'alimentació té una deriva tèrmica màxima de $+750ppm/^\circ C$.
- Calculeu la màxima tensió d'error que podem esperar a la sortida, deguda només al CMRR, si els resistors tenen les toleràncies següents:

$$R1, R3 = 10K\Omega, \pm 1\%$$

$$R2, R4 = 200K\Omega, \pm 2\%$$

$$CMRR_{operacional} = 70dB$$

i la tensió en mode comú de l'entrada val $V_{mc} = 5,0V$

PROBLEMA 3

Un sistema d'adquisició de dades està format pels següents circuits:

1.- Un multiplexor analògic unipolar de 4 canals, que efectua el TDM. A cada canal d'entrada se li assigna el mateix temps.

$$t_{s(\text{MUX})} = 1\mu\text{s}$$

2.- Un amplificador programable que adapta el marge dels senyals d'entrada al marge de l'ADC.

$$t_{s(\text{AMP})} = 5\mu\text{s}$$

3.- Un amplificador de mostreig i retenció que s'utilitza per adquirir els senyals ràpids.

$$t_{ac} = 2\mu\text{s}$$

$$t_{s,H} = 2\mu\text{s}$$

$$t_{ap} = 100\text{ns}$$

$$R_{ON} = 1\text{K}\Omega$$

$$\sum I_{\text{pèrdues}} = 1,5\text{nA}$$

4.- Un convertidor analògic/digital d'aproximacions successives.

Marge d'entrada comprès entre 0V i +10V

$$t_C = 50\mu\text{s}$$

$$e_{\text{analògic}} = \pm \frac{1}{4} \text{ LSB}$$

"n" bits

a) Calculeu:

- a1) Màxima velocitat repetitiva de conversió del convertidor.
- a2) Màxima velocitat repetitiva d'adquisició de dades del sistema.
- a3) Màxima velocitat repetitiva d'adquisició de dades de cada canal.
- a4) Màxim component freqüencial que pot haver-hi a l'entrada de cada canal, i que està limitat per Nyquist.

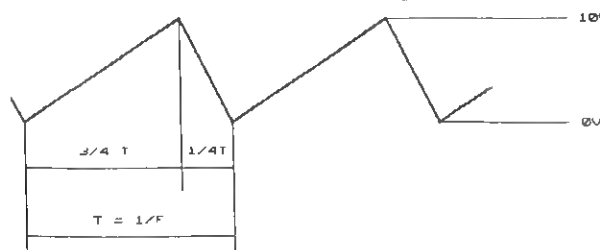
Si els senyals d'entrada (després de l'amplificador programable) són:

$$S_1 = 10/2 (1 + \sin 2\pi ft) \text{ Volts}$$

$$S/N (S_1) = 53\text{dB}$$

$$S_2 = \text{dent de serra}$$

$$S/N (S_2) = 55\text{dB}$$



$$S_3 \text{ i } S_4 = \text{senyals analògics aleatoris}$$

$$S/N (S_3) = 49\text{dB}$$

$$S/N (S_4) = 56\text{dB}$$

Calculeu:

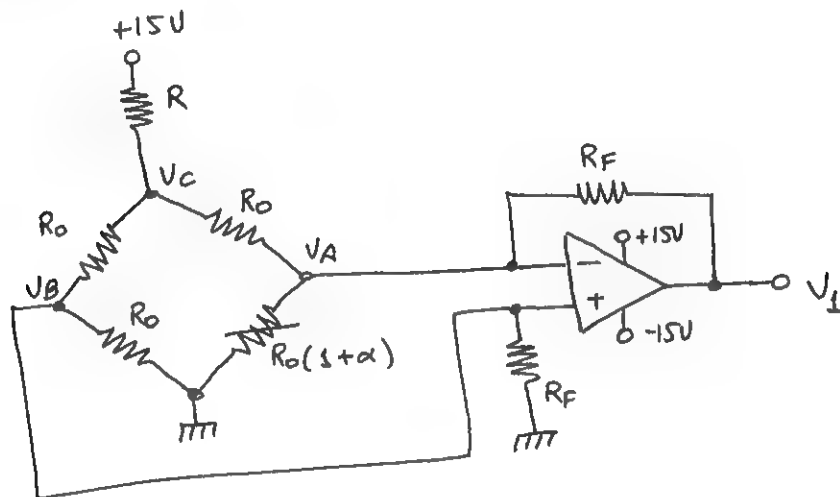
b) Marge dinàmic i resolució que ha de tenir l'ADC.

Suposem que el resultat de l'apartat b1) hagi estat $n = 10$ bits.

c) Quina és la capacitat mínima que pot tenir el condensador de retenció del S/H per tal que la seva deriva sigui menor que l'error final de l'ADC.

d) La freqüència màxima que poden tenir els senyals d'entrada S_1 i S_2 , limitada només pel seu Slew-Rate, amb S/H i sense el S/H.

e) Quina seria, finalment, la freqüència màxima que podrien tenir els senyals d'entrada S_1 i S_2 , per tal que l'error en la sortida de l'ADC fos més petit que el seu error final.

PROBLEMA 1a) Troben els valors d' R i R_F 

* Ens diuen que $I_g = 10 \text{ mA}$, i que $R_0 = 120 \Omega$

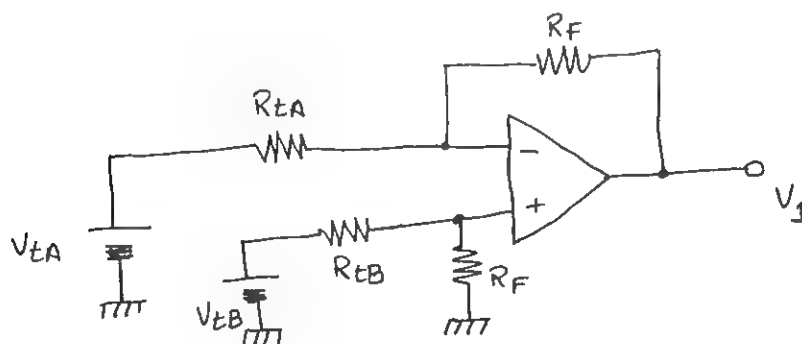
Per tant, $I_R = 2 \times 10 \mu\text{A} = 20 \mu\text{A}$

$$R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{15 - V_C}{20 \mu\text{A}} ;$$

$$V_C = 10 \text{ mA} \times (2 \times 120 \Omega) = 2,4 \text{ V}.$$

$$\underline{\underline{R = \frac{15 - 2,4}{20 \mu\text{A}} = 630 \Omega}}$$

* Ara trobarem l'eq. tèrmin del pont de Wheatstone.



En aquest circuit,

FJUNY95-2

$$R_{tA} = \frac{R_0 \cdot R_0(1+\alpha)}{R_0 + R_0(1+\alpha)} = \frac{R_0(1+\alpha)}{2+\alpha} = \frac{120(1+\alpha)}{2+\alpha} \Omega$$

$$V_{tA} = V_C \frac{R_0(1+\alpha)}{R_0 + R_0(1+\alpha)} = V_C \frac{1+\alpha}{2+\alpha} = 2,4 \frac{1+\alpha}{2+\alpha} V.$$

$$R_{tB} = R_0 // R_0 = \frac{R_0}{2} = 60 \Omega$$

$$V_{tB} = V_C \frac{R_0}{2R_0} = \frac{V_C}{2} = 1,2 V.$$

Ens diuen que considerem l'amplificador diferencial ideal, és a dir,

$$R_{tA} = R_{tB} = 60 \Omega$$

En conseqüència, $V_1 = \frac{R_F}{R_t} (V_{tB} - V_{tA})$.

1) per una deformació de $0 \mu E$, tenim que.

$$\alpha = K \cdot E = 2 \cdot 0 = 0. ; \quad V_{tA} = 2,4 \frac{1}{2} = 1,2 V$$

$$V_1 = \frac{R_F}{60 \Omega} \underbrace{(1,2 - 1,2)}_0 = 0 \quad \text{i ja compleix, sigui quin sigui el valor de } R_F.$$

2) per una deformació de $1000 \mu E$, tenim que

$$\alpha = K \cdot E = 2 \times 0,001 = 0,002 ; \quad V_{tA} = 2,4 \frac{1+0,002}{2+0,002} = 1,203398$$

$$V_1 = \frac{R_F}{60 \Omega} (1,2 - 1,203398) = \underline{\underline{-1}}$$

per tant, $\underline{\underline{R_F}} = \frac{-60}{-0,003398} = \underline{\underline{50.050 \Omega \simeq 50 K\Omega}}$

Així doncs, $R = 630 \Omega$

$$R_F = 50.050 \Omega$$



b) Dissenyem el bloc 2

* Marge d'entrada del bloc 2

$$-1 \leq V_1 \leq 0 \rightarrow M.E. = -1 - 0 = \underline{\underline{-1V}}$$

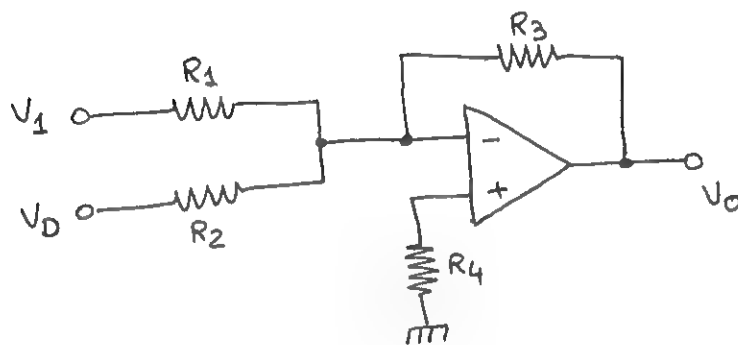
* Marge de sortida del bloc 2

$$+5V \geq V_0 \geq -5V \rightarrow M.S. = 5 - (-5) = 10V$$

per tant, el bloc 2 ha de tenir un guany de:

$$G_{\text{bloc 2}} = \frac{M.S.}{M.E.} = \frac{10V}{-1V} = \underline{\underline{-10}} \quad \text{és un amplificador inversor de guany 10}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } V_1 = 0V, V_0 = 0 \times (-10) = 0V \\ V_1 = -1V, V_0 = -1 \times (-10) = 10V \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{al mateix temps,} \\ \text{el circuit ha d'afegir} \\ \text{un offset de } -5V. \end{array}$$



En aquest circuit tenim que:

$$V_0 = -R_3 \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_D}{R_2} \right)$$

a) per $V_1 = 0V \rightarrow V_0 = -5V$.

$$-5V = -R_3 \left(\frac{0}{R_1} + \frac{V_D}{R_2} \right)$$

$$5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot V_D$$

com que V_D només pot ser $+15V$ o $-15V$, aleshores fem $V_D = +15V$

$$5 = \frac{R_3}{R_2} \cdot 15 ; \quad \boxed{R_2 = 3R_3} \quad ; \quad \boxed{V_D = +15V}$$

b) per $V_1 = -1V$, $\rightarrow V_o = +5V$.

$$+5V = -R_3 \left(\frac{-1}{R_1} + \frac{15}{R_2} \right) \quad \text{i com que } R_2 = 3R_3$$

$$5 = \frac{R_3}{R_1} - \frac{15R_3}{3R_3} = \frac{R_3}{R_1} - 5$$

$$\frac{R_3}{R_1} = 10 ; \quad \boxed{R_3 = 10R_1}$$

Si fem, per exemple, $R_1 = 1K\Omega$, aleshores

$$R_3 = 10K\Omega$$

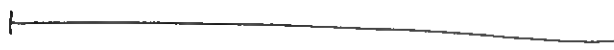
$$R_2 = 30K\Omega.$$

Finalment, per minimitzar l'efecte dels coneuts de polarització,

$$R_4 = R_1 // R_2 // R_3$$

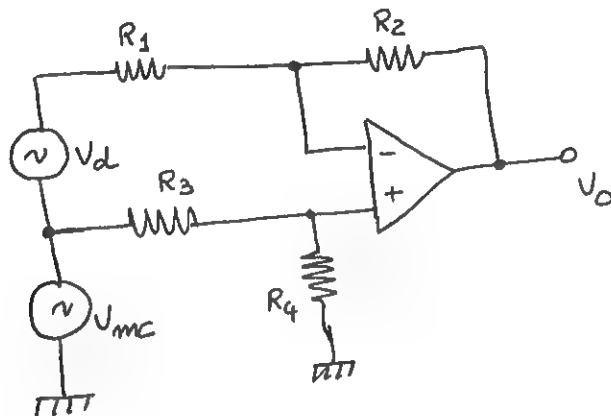
$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{1K} + \frac{1}{10K} + \frac{1}{30K} ; \quad R_4 = 882\Omega.$$

$V_D = +15V$ $R_1 = 1K\Omega$ $R_2 = 30K\Omega$ $R_3 = 10K\Omega$ $R_4 = 882\Omega$



PROBLEMA - 2

a) Calculeu la màxima tensió d'error a la sortida, a 35°C de Tamb.



$$R_1, R_3 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_2, R_4 = 200 \text{ K}\Omega$$

$$\frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} = 30 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} = 2 \text{ mA}/^\circ\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{IB}}{\Delta T} = 5 \text{ mA}/^\circ\text{C}$$

$$V_{io} = 6 \text{ mV a } 25^\circ\text{C}$$

$$I_{io} = 200 \text{ nA a } 25^\circ\text{C}$$

$$I_{IB} = 500 \text{ nA a } 25^\circ\text{C}$$

$$\text{PSRR} = 150 \mu\text{V/V}$$

Com que l'efecte dels corrents de polarització està compensat.

($R_3 \parallel R_4 = R_1 \parallel R_2$), aleshores utilitzarem I_{io} en lloc de I_{IB} .

1) Calculeu V_{io} a l'entrada, a 35°C. ($\Delta T = 35 - 25 = 10^\circ\text{C}$)

$$V_{io}|_{35^\circ\text{C}} = V_{io}|_{25^\circ\text{C}} + \frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} \cdot 10^\circ\text{C} = 6 \text{ mV} + 30 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C} = 6,3 \text{ mV}$$

$$I_{io}|_{35^\circ\text{C}} = I_{io}|_{25^\circ\text{C}} + \frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} \cdot 10^\circ\text{C} = 200 \text{ nA} + 2 \text{ nA}/^\circ\text{C} \times 10^\circ\text{C} = 220 \text{ nA}$$

2) Calculeu la tensió d'error a la sortida.

$$V_{o\text{err}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{io}|_{35^\circ\text{C}} + R_2 \cdot I_{io}|_{35^\circ\text{C}}$$

$$\underline{V_{o\text{ error}}} = \left(1 + \frac{200K}{10K}\right) \cdot 6,3mV + 200K\Omega \cdot 220nA = \underline{176,3mV}$$



b) Troben la màxima tensió d'error en les noves condicions

* Tensió d'offset compensada a : $T_{amb} = 15^\circ C$

$$V_d = 0V$$

$$V_{cc} = \pm 15,0V.$$

en aquestes condicions, $V_o = 0V$.

* Noves condicions :

$$0^\circ C \leq T_{amb} \leq 40^\circ C$$

$$\text{deriva font d'alimentació } \frac{\Delta V_{cc}}{\Delta T} = 750 \text{ ppm}/^\circ C$$

deriva de la tensió d'offset a l'entrada

deguda a les variacions d' V_{cc}

$$\frac{\Delta V_{io}}{\Delta V_{cc}} = PSRR = 150 \mu V/V.$$

→ A partir del moment que hem compensat l'offset en unes condicions determinades, ja només hi haurà derives.

Deriva tècnica màxima:

$$0 - 15^\circ C = -15^\circ C$$

$$40 - 15^\circ C = +25^\circ C$$

$$\underline{\Delta T_{max} = +25^\circ C}$$

Deriva de la font d'alimentació:

$$\Delta V_{cc} = \frac{\Delta V_{cc}}{\Delta T} \cdot \Delta T = \frac{750}{1000000} \cdot (2 \times 15V) \times 25^\circ C = 0,5625V.$$

Finalment, la deriva d' V_{io} deguda a la variació d' V_{cc} serà :

$$\Delta V_{io}|_{V_{cc}} = \underbrace{\frac{\Delta V_{io}}{\Delta V_{cc}}}_{\text{PSRR}} \cdot \Delta V_{cc} = 150 \mu\text{V/V} \times 0,5625\text{V} = 0,085 \text{ mV}.$$

La tensió d'offset a l'entrada serà:

$$V_{io} = \frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} \times \Delta T + \frac{\Delta V_{io}}{\Delta V_{cc}} \times \Delta V_{cc}$$

$$V_{io} = 30 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 25^\circ\text{C} + 85 \mu\text{V} = 835 \mu\text{V}.$$

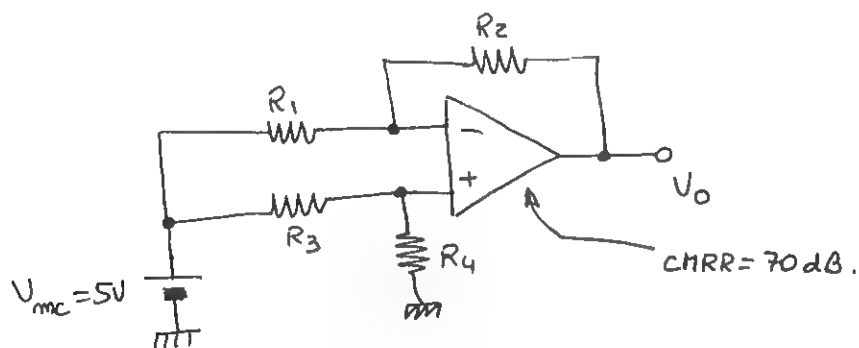
El corrent d'offset a l'entrada serà.

$$I_{IO} = \frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} \cdot \Delta T = 2 \text{ mA}/^\circ\text{C} \times 25^\circ\text{C} = 50 \text{ mA}.$$

Finalment,

$$\underline{\underline{V_{o\text{ error}} = \left(1 + \frac{200}{10}\right) \cdot 835 \mu\text{V} + 200.000 \Omega \cdot 50 \text{ mA} = 27,54 \text{ mV.}}}$$

c) Calcular la tensió d'error a la sortida deguda, uonés, al CMRR



En aquest circuit tenim dues fonts de CMRR

- 1) el propi de l'operacional, $\text{CMRR}_{op} = 70 \text{ dB}$
- 2) degut al desajustament dels resistors, CMRR_R .

1) CMRR de l'operacional.

$$CMRR_{op} = 70 \text{ dB} = 10^{70/20} = 3.162,3$$

2) CMRR degut al desparellament dels resistors.

$$CMRR_R = \frac{1}{2} \frac{R_1 R_4 + R_2 R_3 + 2 R_2 R_4}{R_1 R_4 - R_2 R_3}$$

El cas pitjor, (CMRR més petit) és quan el denominador és màxim

$$R_1_{\max} = 10 \text{ K}\Omega + 1\% = 10,1 \text{ K}\Omega$$

$$R_2_{\min} = 200 \text{ K}\Omega - 2\% = 196 \text{ K}\Omega$$

$$R_3_{\min} = 10 \text{ K}\Omega - 1\% = 9,9 \text{ K}\Omega$$

$$R_4_{\max} = 200 \text{ K}\Omega + 2\% = 204 \text{ K}\Omega$$

$$CMRR_R = \frac{1}{2} \frac{10,1 \times 204 + 196 \times 9,9 + 2 \times 196 \times 204}{10,1 \times 204 - 9,9 \times 196} = 349,87 = 50,9 \text{ dB}$$

I el $CMRR_{\text{total}}$ serà:

$$CMRR_T = 3.162,3 \parallel 349,87 = 315$$

Nowés ens falta saber el guany diferencial del circuit

$$G_d = \frac{1}{2} \left[\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \right]$$

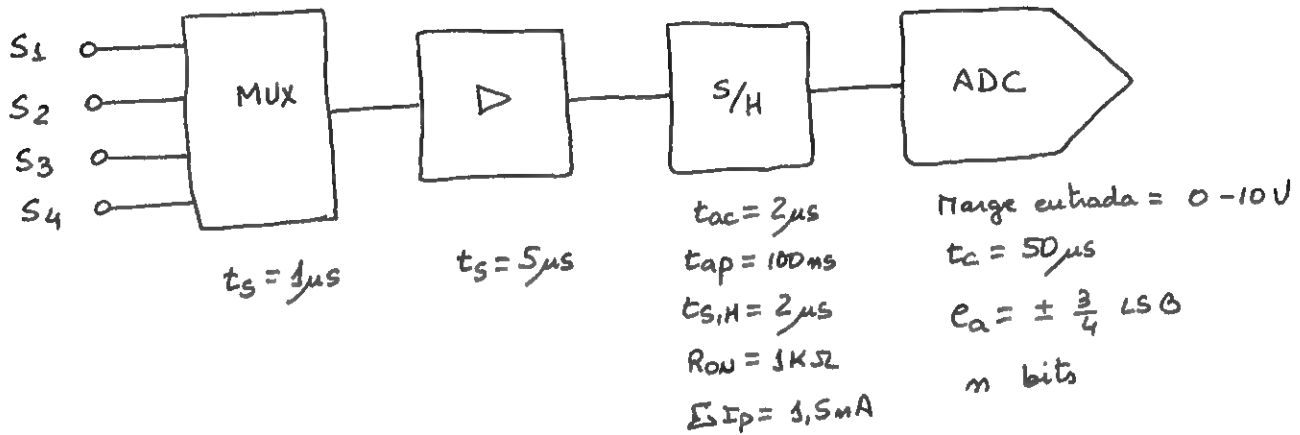
$$G_d = \frac{1}{2} \left[\frac{196}{10,1} + \left(1 + \frac{196}{10,1} \right) \left(\frac{204}{9,9 + 204} \right) \right] = 19,43$$

Finalment,

$$V_o = G_d \left(V_i + \frac{V_{mc}}{CMRR} \right), \quad \text{si } V_i = 0$$

$$\underline{V_o} = 19,43 \cdot \frac{5 \text{ V}}{315} \approx \underline{308,5 \text{ mV}}$$



PROBLEMA - 3a) Calcular

a1) Màxima velocitat repetitiva de conversió del convertidor.

$$V_{MRC} = \frac{1}{t_c} = \frac{1}{50 \mu s} = 20.000 \text{ convers/s}$$

a2) Màx. velocitat repetitiva d'adq. de dades del sistema

$$V_{MRA} = \frac{1}{t_{S,MUX} + t_{S,AMP} + t_{ac} + t_{ap} + t_{S,H} + t_c}$$

$$V_{MRA} = \frac{1}{5 \mu s + 1 \mu s + 2 \mu s + 100 \text{ ns} + 2 \mu s + 50 \mu s} = \underline{\underline{16.640 \text{ adq/s}}}$$

a3) Màx velocitat repetitiva per canal.

$$V_{MRA \text{ per canal}} = \frac{1}{4} V_{MRA} = \frac{1}{4} \cdot 16.640 = 4.160 \text{ adq/s}$$

a4) Màx. component freqüencial a l'entrada per canal

$$\text{Segons Nyquist, } F_{i\text{màx}} \leq \frac{1}{2} F_{\text{sample}} = \frac{1}{2} \cdot 4160 = 2080 \text{ Hz}$$

$$F_{i\text{màx}} = 2080 \text{ Hz}$$



b) Marge dinàmic i resolució de l'ADC

FJUNY 95-10

Calculem l'error final de l'ADC

$$e_f = \left(\pm \frac{q}{2}\right) + \left(\pm \frac{3}{4} q\right) = \pm \frac{5}{4} q = \pm \frac{5}{4} \frac{V_{FE}}{2^m}$$

el rendiment eficaç d'aquest convertidor és:

$$V_{m\text{ ADC}} = \frac{5}{2} \cdot \frac{q}{\sqrt{12}} = \frac{5}{2} \frac{V_{FE}}{2^m \sqrt{12}} V_{rms.}$$

el marge dinàmic és:

$$DR = 20 \log \frac{V_{FE}}{V_m} = 20 \log \frac{V_{FE}}{\frac{5}{2} \frac{V_{FE}}{2^m \sqrt{12}}} = 20 \log \frac{2}{5} \cdot 2^m \sqrt{12}$$

Si $m = 8$ bits $\rightarrow DR = 51$ dB

(Si $m = 9$ bits $\rightarrow DR = 57,02$ dB

Si $m = 10$ bits $\rightarrow DR = 63,04$ dB.

Com que el senyal d'entrada que té la relació S/N més bona és S4 $\rightarrow S/N = 56$ dB, aleshores resulta que la resolució ideal és $m = 9$ bits.

$$\text{Per } m = 9 \text{ bits, } DR_{ADC} \geq S/N (S4).$$

$$m = 9 \text{ bits, } DR = 57 \text{ dB}$$



c) Capacitat mínima del condensador de retenció

Calculem el nou error final de l'ADC.

$$e_{f\text{ ADC}} = \pm \frac{5}{4} q = \pm \frac{5}{4} \frac{V_{FE}}{2^{10}} = \pm \frac{5}{4} \frac{10V}{1024} = \pm 12,2 \mu V.$$

Per tant, la màxima deriva durant tot el temps que dura la conversió ha de ser igual a $\pm 12,2 \text{ mV}$.

$$\frac{\Delta V_{\text{màx}}}{\Delta t} = \frac{1}{C} \cdot I$$

$$\frac{12,2 \text{ mV}}{50 \mu\text{s}} = \frac{1}{C} \cdot 1,5 \text{ mA} \quad ; \quad C = \frac{1,5 \text{ mA} \cdot 50 \mu\text{s}}{12,2 \text{ mV}} = 6,15 \text{ pF}$$

$$C_{\text{mín}} = 6,15 \text{ pF}$$

d) Freqüència màxima dels senyals S_1 i S_2 , amb i sense S/H

aquest $f_{\text{màx}}$ està limitada només pel seu slew-rate i l'error de l'ADC.

senyal S_1 (sense S/H)

Tenim que $e_{f\text{ADC}} = \pm 12,2 \text{ mV}$, per tant:

$$\left. \frac{dS_1(t)}{dt} \right|_{\text{màx}} \times t_c \leq \pm 12,2 \text{ mV}.$$

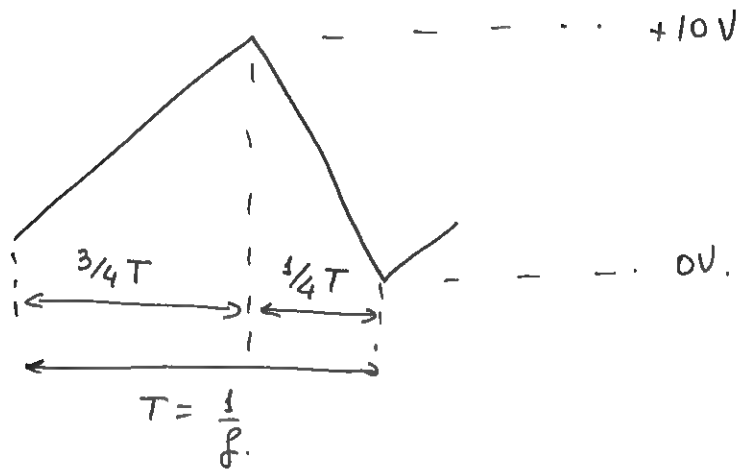
$$\pm \frac{10}{2} 2\pi f \times 50 \mu\text{s} \leq 12,2 \text{ mV}.$$

$$f_{\text{màx}} = 7,77 \text{ Hz}.$$

amb S/H

Hem de substituir t_c per t_{ap} .

$$\underline{\underline{f_{\text{màx}}}} = \frac{12,2 \text{ mV}}{\frac{10}{2} \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ ms}} = \underline{\underline{3,883 \text{ Hz}}}$$

senyal S₂ (sense S/H)

Heu de calcular la seva derivada màxima, que succeeix en la rampa de baixada.

$$S_2(t) \Big|_{\frac{3T}{4}}^T = 10(1 - 4ft)$$

$$\frac{dS_2(t)}{dt} \Big|_{\max} = -40f$$

així doncs.

$$-40f \cdot 50\mu s \leq -12,2mV$$

$$\underline{\underline{F_{\max}}} = \frac{12,2mV}{40 \cdot 50\mu s} = \boxed{6,1 \text{ Hz}}$$

amb S/H

substituint t_c per t_{ap}

$$\underline{\underline{F_{\max}}} = \frac{12,2mV}{40 \cdot 100ms} = \boxed{3050 \text{ Hz}}$$

e) Freqüència màxima dels senyals d'entrada.Senyal S1

La màxima freq. de mostreig del canal 1 és igual a la màxima velocitat repetitiva d'adq. de dades per aquest canal.

$$F_{s\max} = 4.160 \text{ Hz.}$$

→ Segons Nyquist, la $f_{i\max}$ serà

$$\underline{f_{i\max}} = \frac{1}{2} 4160 = \underline{2080 \text{ Hz.}}$$

→ Degut a la velocitat de variació i el temps d'adquisició (apuntat d'anterior),

$$\underline{f_{i\max}} = \underline{3.883 \text{ Hz.}}$$

El pitjor cas és la limitació del mostreig.

$f_{i\max}(S_1) = 2080 \text{ Hz}$, ja que el senyal és sinusoidal i la seva freq. correspon amb el màxim component freqüencial.

Senyal S2

$$\text{Nyquist} \rightarrow f_{i\max} = 2080 \text{ Hz.}$$

$$\text{slew-rate} \rightarrow f_{i\max} = 3050 \text{ Hz.}$$

D'aquí deduíem que el màxim component freq. a l'entrada serà de 2080 Hz . → Com que és una ona en dent de serra, i té components freqüencials fins a l'infinit, una bona restricció seria dividir $f_{i\max}$ per

així, podríem dir que una freq. d'entrada màx de 208 Hz , amb el seu corresponent filtre anti-aliasing seria un bon component





UNIVERSITAT DE VIC

Escola Politècnica Superior

E.T. de Telecomunicació

Especialitat en Sistemes de Telecomunicació

ADQUISICIÓ DEL SENYAL

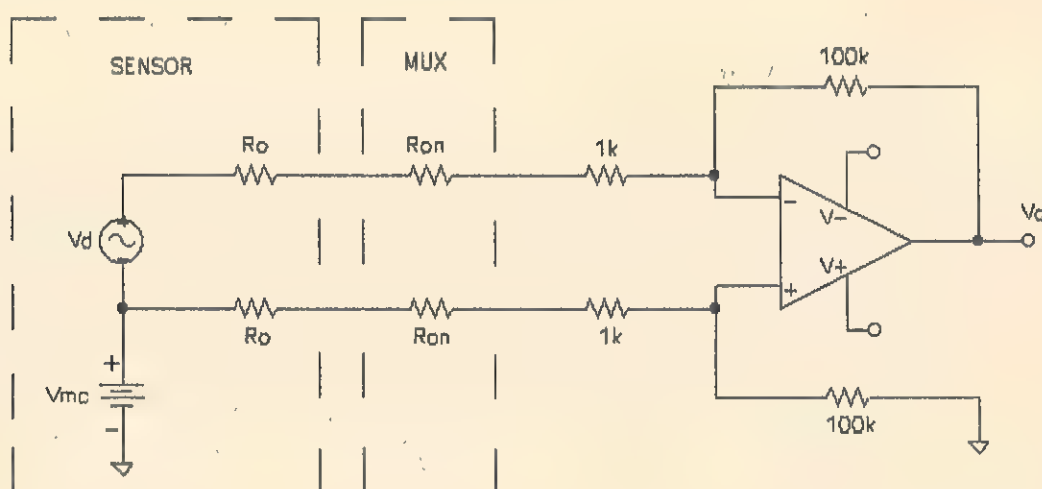
Examen final

2 de juliol de 1997

PROBLEMA 1

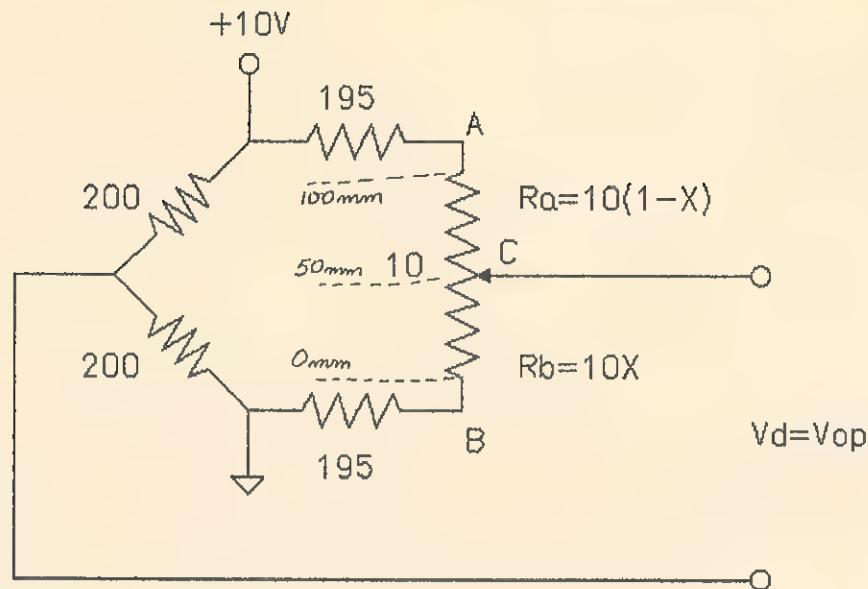
Un determinat sensor diferencial presenta a la seva sortida una tensió en mode comú $V_{MC}=5V$, una tensió diferencial màxima $V_d=150mV$ i unes impedàncies de sortida $R_O=100\Omega \pm 2\%$. La sortida del sensor s'aplica a un amplificador diferencial a través d'un multiplexor. Les resistències de canal del multiplexor són de $500\Omega \pm 1\%$.

Si els resistors de l'amplificador diferencial tenen una tolerància de $\pm 1\%$, i l'amplificador operacional té un $CMRR_{\min}=75dB$



- a) Calculeu la tensió d'error màxima que podem esperar a la sortida deguda només a la tensió en mode comú. Quin és l'error relatiu (en %) respecte a la tensió de fons d'escala. (2 punts)
- b) Si el sensor de posició o de desplaçament és un potenciòmetre lineal de 10Ω i $10cm$ de recorregut, muntat en el següent pont de Wheatstone, trobeu el desplaçament màxim del punt central C cap als extrems A i B respecte del punt central o de repòs (distància B-C = $5cm$ i distància C-A = $5cm$) si les tensions màximes que s'obtenen a la sortida de l'amplificador diferencial són: (2 punts)

$$-6,25V \leq V_O \leq +7,5V$$



PROBLEMA 2

Un sensor lineal de posició ofereix a la seva sortida un senyal que varia entre 0 i 10mV quan mesurem desplaçaments compresos entre 0mm i 100mm.

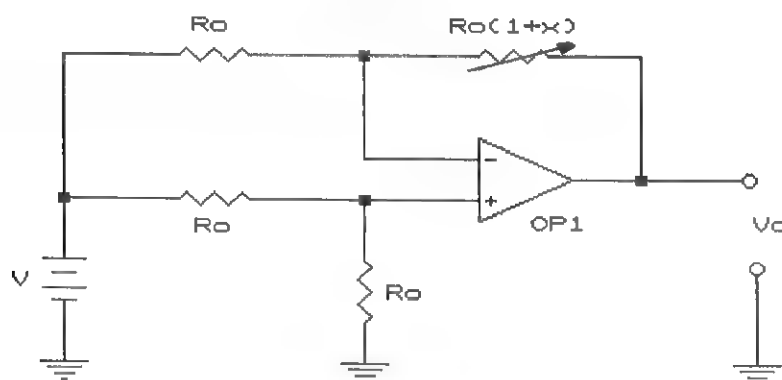
- Quina és la sensibilitat del sensor?. Quin ha de ser el guany de l'Amplificador d'Instrumentació que coloquem a continuació, si la sortida l'hem d'aplicar a un CAD amb un marge d'entrada de 0 a 5V. (1 punt)
- Si volem una resolució de 0.1mm, quina ha de ser la resolució (en bits) del convertidor?. (1 punt)

Sigui quin sigui el resultat de l'apartat anterior, pels següents apartats considereu $N=10$ bits. Suposeu, també, que el desplaçament que mesura el sensor presenta una variació sinusoidal entre 0mm i 100mm amb una freqüència de 5Hz.

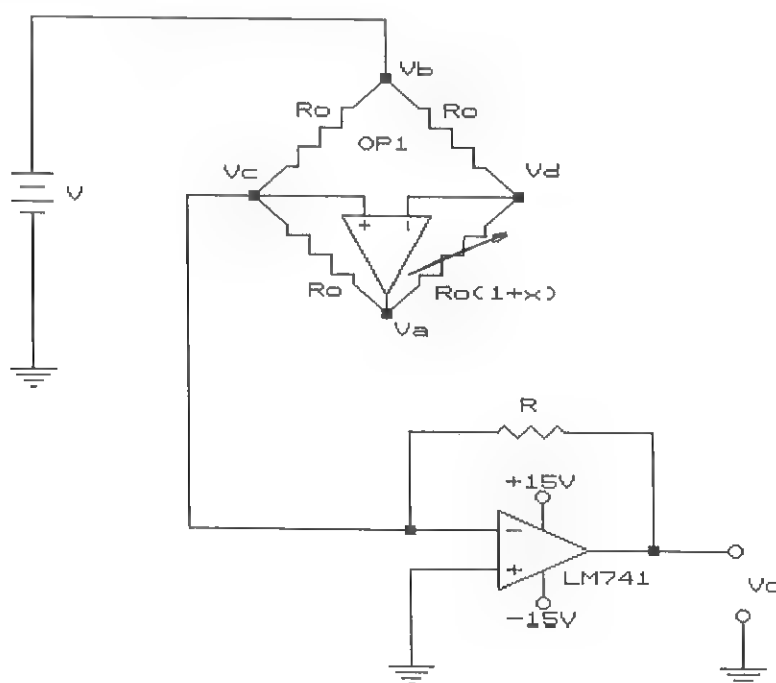
- Amb el desplaçament indicat en l'apartat anterior s'ha mesurat a l'entrada de l'A.I. una $S/N=67$ dB. Si l'A.I. provoca un soroll intrínsec a la seva sortida de $800\mu V_{rms}$, quin error (en LSB o fraccions d'LSB), com a màxim, pot tenir el convertidor (apart dels de quantificació) per tal que el seu marge dinàmic sigui superior o igual a la S/N del senyal present a l'entrada del convertidor. (2 punts)
- El temps de conversió del CAD és $t_c=100\mu s$. El temps d'establiment de l'A.I. és de $10\mu s$, i el temps de lectura del μP és de $5\mu s$. Suposant que l'error màxim de no-linealitat del convertidor és de $\pm 1,5$ LSB, fa falta afegir un S/H al sistema de mesura si volem que l'error es mantingui inferior a l'error màxim del CAD?. I en cas que el senyal d'entrada sigui aleatori, amb un Slew-Rate $SR_{m\acute{a}xim}=0,1mm/\mu s$?. Si fa falta un circuit de S/H, calculeu el màxim temps d'obertura permès. (2 punts)

PROBLEMA 1

Donat el circuit de la primera figura, demostreu que la tensió de sortida del condicionador és lineal respecte de les variacions de resistència "x" del transductor.



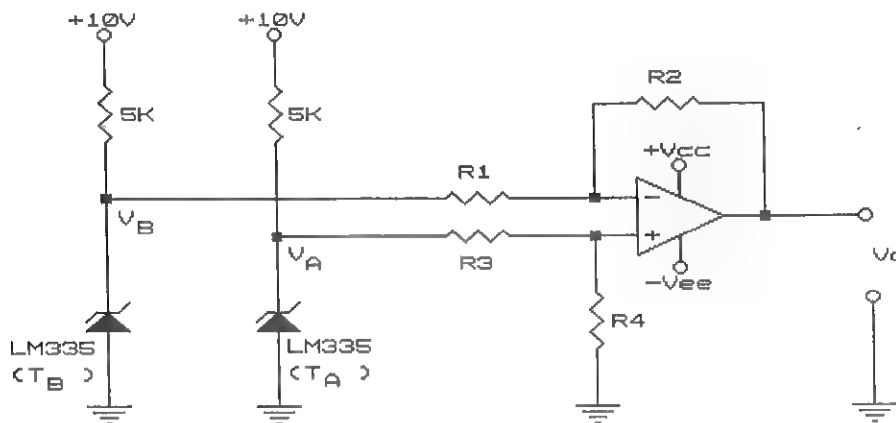
Compareu la sortida del circuit anterior amb la sortida del circuit següent, que també és un condicionador de senyal pel mateix transductor.



PROBLEMA 2

El següent circuit serveix per mesurar la diferència de temperatures entre dos recintes A i B ($T_A - T_B$) amb dos transductors LM335. El marge de temperatures de cada recinte pot variar entre 0°C i 100°C . La tensió de sortida s'ha de comportar de manera lineal respecte de la diferència de temperatures, de manera que:

Si $T_A - T_B = 100^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = +10\text{V}$
Si $T_A - T_B = 0^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = 0\text{V}$
Si $T_A - T_B = -100^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = -10\text{V}$



$$V_{CC} = +15\text{V}, \pm 1\%$$

$$V_{EE} = -15\text{V}, \pm 1\%$$

$$R1 = 10\text{K}\Omega$$

$$R3 = 10\text{K}\Omega$$

$$V_A = 10\text{mV/K} * T_A (\text{K}) \text{ a partir de } 0\text{K}$$

$$V_B = 10\text{mV/K} * T_B (\text{K}) \text{ a partir de } 0\text{K}$$

Si considerem negligible la resistència de sortida dels LM335, calculeu:

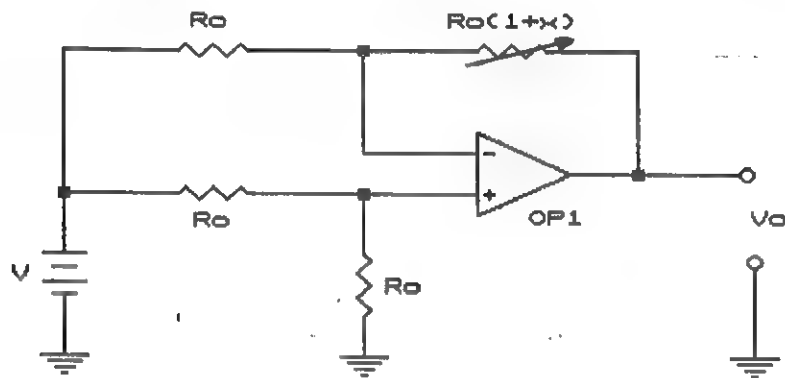
- El valor d' $R2$ i $R4$.
- Si l'amplificador operacional és del tipus OP07, calculeu el màxim error que podem esperar a la sortida degut als desequilibris i derives en cas que la seva temperatura de funcionament sigui de 45°C .
- En cas que haguem ajustat l'offset del circuit, de tal manera que $V_o = 0\text{V}$ quan $V_A = V_B = 0\text{V}$, i quan l'operacional estava a una temperatura de 40°C , calculeu el màxim error que podem esperar a la sortida, al cap de tres mesos, quan $T_A = T_B = 50^\circ\text{C}$, si la temperatura de funcionament de l'operacional pot ser qualsevol compresa entre 30°C i 55°C , i si suposem que la tolerància dels 4 resistors és de $\pm 1\%$. (Nota: suposeu $\text{CMRR}_{\text{op}} = 90\text{dB}$).
- Quin seria el màxim error que podríem esperar en la sortida en l'apartat c) si, además de compensar l'offset, haguéssim ajustat el CMRR quan $T_A = T_B = 0^\circ\text{C}$

Electrical CharacteristicsUnless otherwise specified, $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$. **Boldface type** refers to limits over $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$

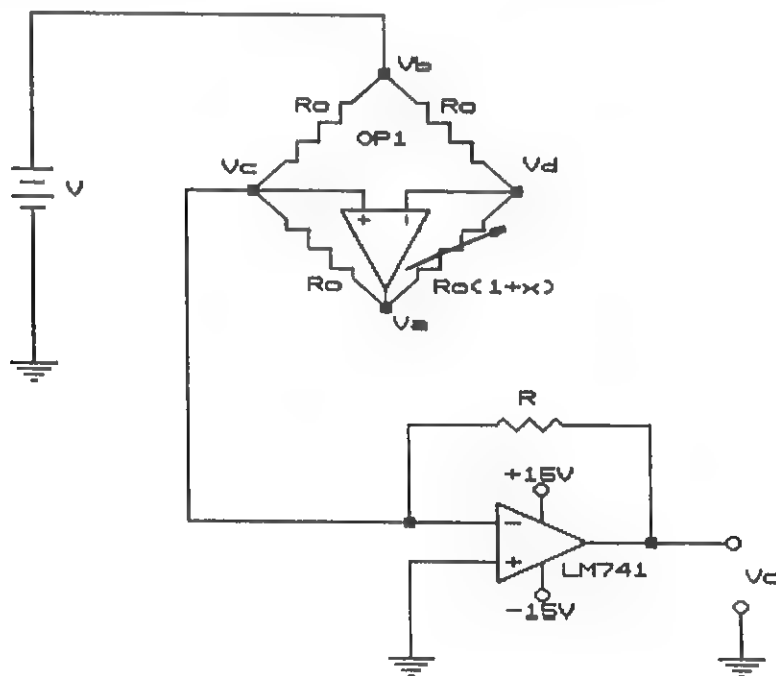
Symbol	Parameter	Conditions	OP-07E			OP-07C			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	(Note 1)		30 45	75 130		60 85	150 250	μV
$V_{OS/t}$	Long-Term V_{OS} Stability	(Note 2)		0.3	1.5		0.4	2.0	$\mu V/Mc$
I_{OS}	Input Offset Current			0.5 0.9	3.8 5.3		0.8 1.6	6.0 8.0	nA
I_B	Input Bias Current			± 1.2 ± 1.5	± 4.0 ± 5.5		± 1.8 ± 2.2	± 7.0 ± 9.0	nA
e_{np-p}	Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.35	0.6		0.38	0.65	μV_{p-p}
e_n	Input Noise Voltage Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		10.3 10.0 9.6	18.0 13.0 11.0		10.5 10.2 9.8	20.0 13.5 11.5	nV/\sqrt{Hz}
i_{np-p}	Input Noise Current	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		14	30		15	35	pA_{p-p}
i_n	Input Noise Current Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		0.32 0.14 0.12	0.80 0.23 0.17		0.35 0.15 0.13	0.90 0.27 0.18	pA/\sqrt{Hz}
R_{IN}	Input Resistance, Differential-Mode	(Note 4)	15	50		8	33		$M\Omega$
R_{INCM}	Input Resistance Common-Mode			160			120		$G\Omega$
IVR	Input Voltage Range		± 13.0	± 14.0		± 13	± 14		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	108 103	123 123		100 97	120 120		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$ $V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		5 7	20 32		7 10	32 51	$\mu V/V$
A_{VO}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2 k\Omega$, $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 2 k\Omega$ $R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	200 180 150	500 450 400		120 100 100	400 400 400		V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$ $R_L \geq 2 k\Omega$ $R_L \geq 1 k\Omega$	± 12.5 ± 12.0 ± 12.0 ± 10.5	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0		± 12.0 ± 11.5 ± 11.0	± 13.0 ± 12.8 ± 12.6 ± 12.0		V
SR	Slew Rate	$R_L \geq 2 k\Omega$ (Note 3)	0.1	0.3		0.1	0.3		$V/\mu s$
BW	Closed-Loop Bandwidth	$A_{VCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		0.4	0.6		MHz
R_O	Output Resistance	$V_O = 0$, $I_O = 0$		60			60		Ω
P_d	Power Consumption	$V_S = \pm 15V$, No Load $V_S = \pm 3V$, No Load		75 4	120 6		80 4	150 8	mW
	Offset Adj. Range	$R_P = 20 k\Omega$		± 4			± 4		mV
TCV _{OS}	Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		0.3	1.3		0.5	1.8	$\mu V/^\circ C$
TCV _{OSn}	With External Trim	$R_P = 20 k\Omega$ (Note 4)		0.3	1.3		0.4	1.6	
TCI _{OS}	Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		8	35		12	50	$pA/^\circ C$
TCI _B	Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		13	35		18	50	$pA/^\circ C$

PROBLEMA 1

- 1p Donat el circuit de la primera figura, demostreu que la tensió de sortida del condicionador és lineal respecte de les variacions de resistència "x" del transductor.



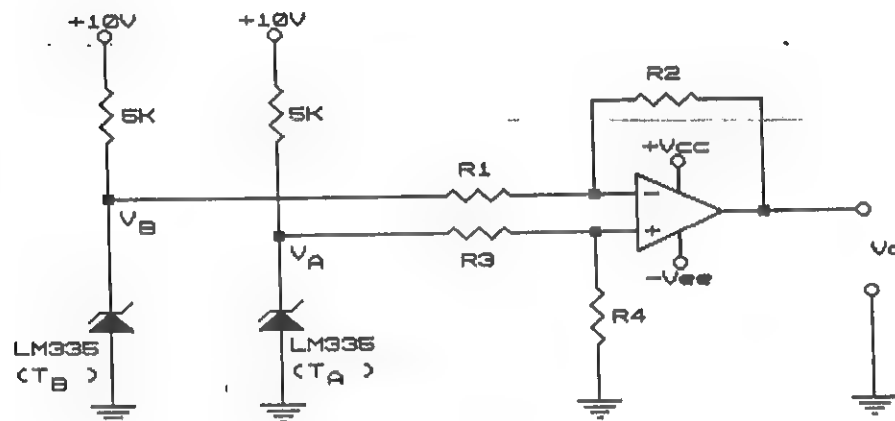
- 1p Compareu la sortida del circuit anterior amb la sortida del circuit següent, que també és un condicionador de senyal pel mateix transductor.



PROBLEMA 2

El següent circuit serveix per mesurar la diferència de temperatures entre dos recintes A i B ($T_A - T_B$) amb dos transductors LM335. El marge de temperatures de cada recinte pot variar entre 0°C i 100°C . La tensió de sortida s'ha de comportar de manera lineal respecte de la diferència de temperatures, de manera que:

Si $T_A - T_B = 100^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = +10\text{V}$
Si $T_A - T_B = 0^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = 0\text{V}$
Si $T_A - T_B = -100^\circ\text{C}$	aleshores	$V_o = -10\text{V}$



$$V_{CC} = +15\text{V}, \pm 1\%$$

$$V_{EE} = -15\text{V}, \pm 1\%$$

$$R1 = 10\text{K}\Omega$$

$$R3 = 10\text{K}\Omega$$

$$V_A = 10\text{mV/K} * T_A (\text{K}) \text{ a partir de } 0\text{K}$$

$$V_B = 10\text{mV/K} * T_B (\text{K}) \text{ a partir de } 0\text{K}$$

Si considerem negligible la resistència de sortida dels LM335, calculeu:

- 2p a) El valor d' $R2$ i $R4$.
- 2p b) Si l'amplificador operacional és del tipus OP07, calculeu el màxim error que podem esperar a la sortida degut als desequilibris i derives en cas que la seva temperatura de funcionament sigui de 45°C .
- 3p c) En cas que haguem ajustat l'offset del circuit, de tal manera que $V_o = 0\text{V}$ quan $V_A = V_B = 0\text{V}$, i quan l'operacional estava a una temperatura de 40°C , calculeu el màxim error que podem esperar a la sortida, al cap de tres mesos, quan $T_A = T_B = 50^\circ\text{C}$, si la temperatura de funcionament de l'operacional pot ser qualsevol compresa entre 30°C i 55°C , i si suposem que la tolerància dels 4 resistors és de $\pm 1\%$. (Nota: suposeu $\text{CMRR}_{\text{op}} = 90\text{dB}$).
- 4p d) Quin seria el màxim error que podríem esperar en la sortida en l'apartat c) si, además de compensar l'offset, haguéssim ajustat el CMRR quan $T_A = T_B = 0^\circ\text{C}$.

Electrical CharacteristicsUnless otherwise specified, $V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$. Boldface type refers to limits over $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$

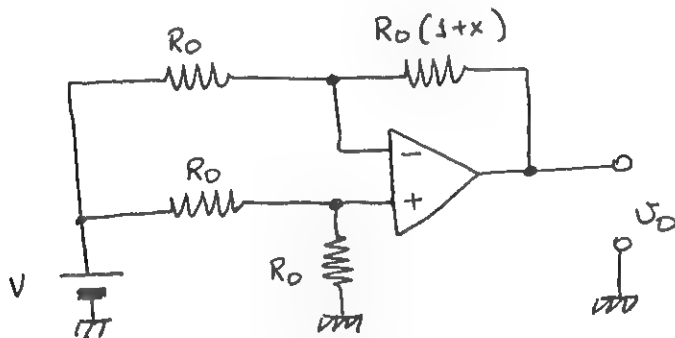
Symbol	Parameter	Conditions	OP-07E			OP-07C			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	(Note 1)		30 45	75 130		60 85	150 250	μV
V_{OS}/t	Long-Term V_{OS} Stability	(Note 2)		0.3	1.5		0.4	2.0	$\mu V/Mk$
I_{OS}	Input Offset Current			0.5 0.9	3.8 5.3		0.8 1.6	6.0 8.0	nA
I_B	Input Bias Current			± 1.2 ± 1.5	± 4.0 ± 5.5		± 1.8 ± 2.2	± 7.0 ± 9.0	nA
e_{np-p}	Input Noise Voltage	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		0.35	0.6		0.38	0.65	μV_{p-p}
e_n	Input Noise Voltage Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		10.3 10.0 9.6	18.0 13.0 11.0		10.5 10.2 9.8	20.0 13.5 11.5	nV/\sqrt{Hz}
i_{np-p}	Input Noise Current	0.1 Hz to 10 Hz (Note 3)		14	30		15	35	pA_{p-p}
i_n	Input Noise Current Density	$f_O = 10$ Hz $f_O = 100$ Hz (Note 3) $f_O = 1000$ Hz		0.32 0.14 0.12	0.80 0.23 0.17		0.35 0.15 0.13	0.90 0.27 0.18	pA/\sqrt{Hz}
R_{IN}	Input Resistance, Differential-Mode	(Note 4)	15	50		8	33		M Ω
R_{INCM}	Input Resistance Common-Mode			160			120		G Ω
IVR	Input Voltage Range		± 13.0	± 14.0		± 13	± 14		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = \pm 13V$	106 103	123 123		100 97	120 120		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$ $V_S = \pm 3V$ to $\pm 18V$		5 7	20 32		7 10	32 51	$\mu V/V$
A_{VO}	Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2$ k Ω , $V_O = \pm 10V$ $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 500\Omega$, $V_O = \pm 0.5V$, $V_S = \pm 3V$ (Note 4)	200 180 150	500 450 400		120 100 100	400 400 400		V/mV
V_O	Output Voltage Swing	$R_L \geq 10$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 2$ k Ω $R_L \geq 1$ k Ω	± 12.5 ± 12.0 ± 12.0 ± 10.5	± 13.0 ± 12.8 ± 12.8 ± 12.0		± 12.0 ± 11.5 ± 11.0 ± 12.0	± 13.0 ± 12.8 ± 12.8 ± 12.0		V
SR	Slew Rate	$R_L \geq 2$ k Ω (Note 3)	0.1	0.3		0.1	0.3		V/ μs
BW	Closed-Loop Bandwidth	$A_{VCL} = +1$ (Note 3)	0.4	0.6		0.4	0.6		MHz
R_O	Output Resistance	$V_O = 0$, $I_O = 0$		60			60		Ω
P_d	Power Consumption	$V_S = \pm 15V$, No Load $V_S = \pm 3V$, No Load		75 4	120 8		80 4	150 8	mW
	Offset Adj. Range	$R_P = 20$ k Ω		± 4			± 4		mV
TCV_{OS}	Average Input Offset Voltage Drift Without External Trim	(Note 4)		0.3	1.3		0.5	1.8	$\mu V/^\circ C$
TCV_{OSn}	With External Trim	$R_P = 20$ k Ω (Note 4)		0.3	1.3		0.4	1.6	
TCI_{OS}	Average Input Offset Current Drift	(Note 3)		8	35		12	50	$pA/^\circ C$
TCI_B	Average Input Bias Current Drift	(Note 3)		13	35		18	50	$pA/^\circ C$

.

.

PROBLEMA -1

a) Demostreu que la sortida del condicionador és lineal respecte d' x .



En aquest circuit, $V^+ = V \frac{R_0}{R_0 + R_0} = \frac{V}{2}$

$$\frac{V - V^-}{R_0} = \frac{V^- - V_0}{R_0(1+x)} \quad ; \quad \text{com que } V^- = V^+ = \frac{V}{2}$$

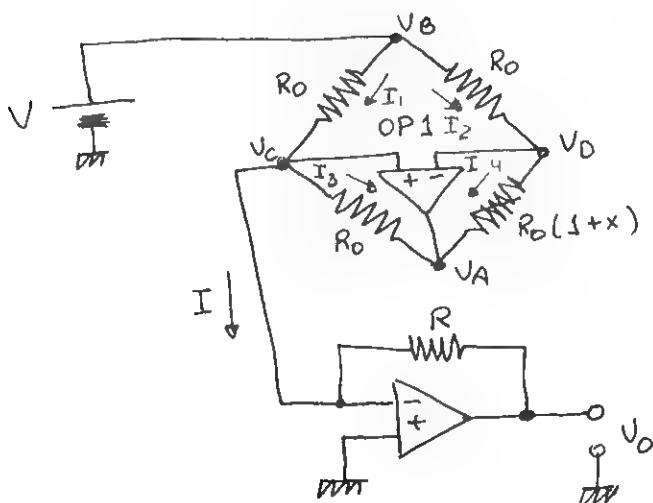
$$\frac{V - \frac{V}{2}}{R_0} = \frac{\frac{V}{2} - V_0}{R_0(1+x)} \quad ; \quad \frac{V}{2R_0} = \frac{\frac{V}{2} - V_0}{R_0(1+x)}$$

$$\frac{V}{2}(1+x) = \frac{V}{2} - V_0 \quad ; \quad \frac{V}{2} + \frac{Vx}{2} - \frac{V}{2} = -V_0$$

$$\boxed{V_0 = -\frac{V}{2}x} \Rightarrow V_0 = K \cdot x$$

¡ es demostia que V_0 és direct. proporcional a " x "

b) Demou compareu la sortida del circuit anterior amb la del següent:



En aquest circuit,
$$\begin{cases} I_1 = I + I_3 \\ V_C = V_D = 0V \\ I_2 = I_4 \end{cases}$$

$$\frac{V_B - V_C}{R_0} = I + \frac{V_C - V_A}{R_0} \quad ; \quad \frac{V}{R_0} = I + \frac{-V_A}{R_0} \quad (1)$$

$$\frac{V_B - V_D}{R_0} = \frac{V_D - V_A}{R_0(1+x)} \quad ; \quad \frac{V - 0}{R_0} = \frac{0 - V_A}{R_0(1+x)}$$

$$\frac{V R_0 (1+x)}{R_0} = -V_A \quad ; \quad V_A = -V(1+x)$$

Substituint aquest valor en (1)

$$\frac{V}{R_0} = I + \frac{V(1+x)}{R_0} \quad ; \quad I = \cancel{\frac{V}{R_0}} - \cancel{\frac{V}{R_0}} - \frac{Vx}{R_0}$$

$$I = -\frac{V}{R_0} x$$

L'últim OP-AMP és un convertidor I/V.

$$V_o = -IR = \frac{VR}{R_0} x$$

La qual cosa demostra que també és lineal.

Comparació

Figura 2

- * Sortida Positiva
- * Quany $\frac{V}{2}$
- * 2 operacionals \rightarrow més deseq., derives i soroll
- * No s'ha d'obrir cap nus del pont de Wheatstone.

Figura 1

- * Sortida negativa
- * Quany ajustable $\frac{VR}{R_0}$
- * 1 operacional
- * S'ha d'obrir 1 nus del pont de Wheatstone.

PROBLEMA 2

El següent circuit sencer per mesurar la diferència de temperatures entre dos recintes A i B (T_A i T_B), amb els transductors L7335. El marge de temperatura de cada recinte pot variar entre 0°C i 100°C . La tensió de sortida s'ha de comportar de manera lineal respecte la diferència de temp., de manera que:

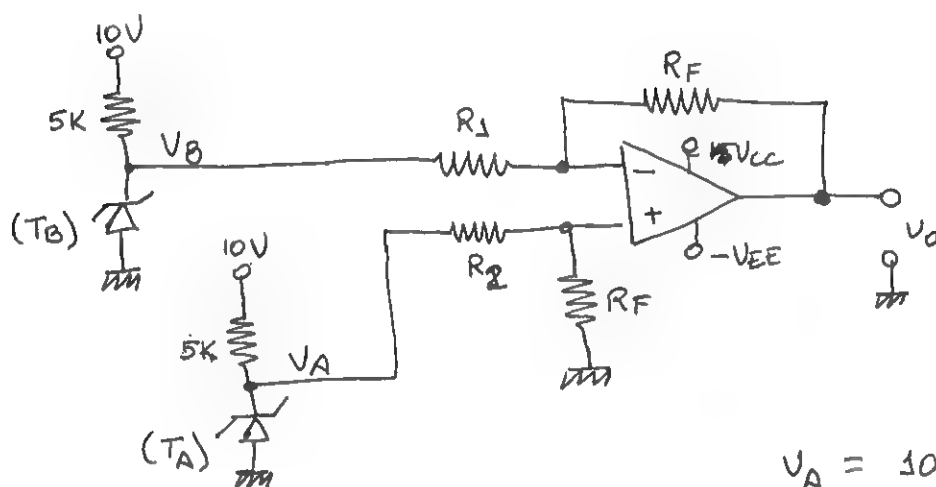
$$\text{Si } T_A = 100^\circ\text{C} \text{ i } T_B = 0^\circ\text{C} \rightarrow V_O = +10\text{V}$$

$$\text{Si } T_A = T_B \rightarrow V_O = 0\text{V}$$

$$\text{Si } T_A = 0^\circ\text{C} \text{ i } T_B = 100^\circ\text{C} \rightarrow V_O = -10\text{V}.$$

Si considerem la resistència de sortida dels L7335 negligible, calculen:

a) El valor de R_F



$$V_{CC} = +15\text{V}, \pm 1\%$$

$$V_{EE} = -15\text{V}, \pm 1\%$$

$$R_1 = 10\text{K}\Omega$$

$$R_2 = 10\text{K}\Omega$$

$$V_A = 10\text{mV}/^\circ\text{C} \cdot T_A (\text{K}) \text{ a partir de } 0$$

$$V_B = 10\text{mV}/^\circ\text{C} \cdot T_B (\text{K}) \text{ a partir de } 0$$

Sabem que és un amplif. diferencial, i si les resist. estan aparellades, aleshores ($R_1 = R_2$)

$$V_O = \frac{R_F}{R_1} (V_A - V_B)$$

passem les tensions V_A i V_B a $^\circ\text{C}$.

$$V_A = 10\text{mV}/^\circ\text{C} \cdot (273 + T_A) \quad (T_A \text{ en } ^\circ\text{C})$$

$$V_B = 10\text{mV}/^\circ\text{C} \cdot (273 + T_B) \quad (T_B \text{ en } ^\circ\text{C})$$

$$T_A = 2,73V + 0,01 \cdot T_A (^{\circ}C) V$$

$$T_B = 2,73V + 0,01 T_B (^{\circ}C) \cdot V \dots$$

finalment,

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} \cdot \left[(\cancel{2,73} + 0,01 T_A) - (\cancel{2,73} + 0,01 T_B) \right]$$

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} \cdot 0,01 (T_A - T_B).$$

$$\text{Si } V_o = 10V, \quad T_A = 100^{\circ}C \quad i \quad T_B = 0^{\circ}C$$

$$10V = \frac{R_F}{R_1} \cdot 0,01 (100 - 0) V$$

$$\frac{R_F}{R_1} = 10$$

$$R_F = 10 R_1.$$

$$\text{Si } R_1 = 10K\Omega, \text{ aleshores } R_F = 100K\Omega$$



- b) Si l'amplif. operacional és un OP07C, calculen el màxim error que podem esperar en la sortida degut als desequilibris (offsets) i doni en cas que la seva temperatura de funcionament sigui de $45^{\circ}C$.

A partir de les característiques del fabricant dedueix que

$$\Delta T = 45^{\circ}C - 25^{\circ}C = 20^{\circ}C$$

$$\Delta V_{cc} = \Delta V_{cc} + \Delta V_{EE} = 15 \times \frac{1}{100} \times 2 + 15 \times \frac{1}{100} \times 2 = 0,3V$$

a partir d'aquí tenim que

$$V_{io} = \left[V_{io} \Big|_{25^{\circ}\text{C}} + \frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} \cdot \Delta T + \frac{\Delta V_{io}}{\Delta V_{cc}} \cdot \Delta V_{cc} \right]$$

no hi ha derives
temporals.

$$V_{io} = \left[150 \mu\text{V} + 18 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \cdot 20^{\circ}\text{C} + 51 \mu\text{V}/\text{V} \cdot 0,3 \text{V} \right] = 201,3 \mu\text{V}$$

com que el circuit té els corrents de polarització compensats, prendrem I_{io} en lloc de I_B .

$$I_{io} = \left[I_{io} \Big|_{25^{\circ}\text{C}} + \frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} \cdot \Delta T \right]$$

$$I_{io} = \left[6 \text{ nA} + 50 \text{ pA}/^{\circ}\text{C} \cdot 20^{\circ}\text{C} \right] = 7 \text{ nA}$$

Finalment, la tensió d'error en la sortida serà.

$$V_{o\text{err}} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \cdot V_{io} + R_F \cdot I_{io}$$

$$V_{o\text{err}} = \left(1 + \frac{100\text{K}}{10\text{K}} \right) \cdot 201,3 \mu\text{V} + 100.000 \cdot 7 \text{ nA} = 2,214 \text{ mV}$$

$$V_{o\text{err}} \approx \pm 2,3 \text{ mV}$$

- c) En cas que haguem ajustat l'offset del circuit, de tal manera que $V_o = 0\text{V}$ quan $V_A = V_B = 0\text{V}$, i quan l'operacional estava a una $T = 40^{\circ}\text{C}$, calculen l'error màxim que podem esperar a la sortida, al cap de 3 mesos, quan $T_A = T_B = 50^{\circ}\text{C}$, si la temperatura de funcionament de l'operacional pot ser qualsevol, compresa entre 30°C i 55°C , i si supos que la tolerància dels 4 resistors és de $\pm 1\%$ (Nota: suposeu $\text{CMRR}_{op} = 90\text{dB}$).

En aquest apartat s'ha compensat l'offset, de manera que només apareixen derives:

- a) tèrmiques.
- b) degudes a V_{cc}
- c) temporals.

però al mateix temps hi ha un desajustament dels resistors i una tensió en mode comú.

1) Calculem error a la sortida degut a les derives.

$$\Delta T|_{m\grave{a}x} = 55 - 40 = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta V_{cc}|_{m\grave{a}x} = \left[15 \times \frac{1}{100} \times 2 + 15 \frac{1}{100} \times 2 \right] \times 2 = 0,6 \text{ V}$$

degut a que quan hem compensat l'offset no sabem exactament V_{cc} i V_{ee} .

$$\Delta t = 3 \text{ mesos.}$$

$$v_{io} = \left[\underbrace{v_{io}|_{40^{\circ}\text{C}}}_{0} + \frac{\Delta v_{io}}{\Delta T} \cdot \Delta T + \frac{\Delta v_{io}}{\Delta V_{cc}} \cdot \Delta V_{cc} + \frac{\Delta v_{io}}{\Delta t} \cdot \Delta t \right]$$

$$v_{io} = \left[1,8 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \cdot 15^{\circ}\text{C} + 51 \mu\text{V}/\text{V} \cdot 0,6 + 2 \mu\text{V}/\text{mes} \cdot 3 \text{ mesos} \right] =$$

$$v_{io} = 63,6 \mu\text{V.}$$

$$I_{io} = \left[\underbrace{I_{io}|_{40^{\circ}\text{C}}}_{0} + \frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} \cdot \Delta T \right]$$

$$I_{io} = 50 \text{ pA}/^{\circ}\text{C} \cdot 15^{\circ}\text{C} = 750 \text{ pA}$$

i finalment,

$$V_o|_{\text{derives}} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \cdot V_{i0} + R_F I_{i0}$$

$$V_o|_{\text{derives}} = 11 \cdot 63,6 + 100.000 \times 750 \text{ pA} = \pm 0,775 \text{ mV}$$

2) Calculem error a la sortida degut al CMRR.

$$\text{CMRR}_{\text{op}} = 90 \text{ dB} = 10^{\frac{90}{20}} = 31.623$$

$$\text{CMRR}_R = \frac{1}{2} \frac{R_1 R_4 + R_2 R_3 + 2 R_2 R_4}{R_1 R_4 - R_2 R_3}$$

el cas pitjor serà quan $R_1, R_4 \gg$ i $R_2 R_3 \ll$

$$R_1 = 10 \text{ K}\Omega + 1\% = 10,1 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = 10 \text{ K}\Omega - 1\% = 9,9 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ K}\Omega \mp 1\% = 99 \text{ K}\Omega$$

$$R_4 = 100 \text{ K}\Omega + 1\% = 101 \text{ K}\Omega$$

$$\text{CMRR}_R = \frac{1}{2} \frac{10,1 \times 101 + 9,9 \times 99 + 2 \times 99 \times 101}{10,1 \times 101 - 9,9 \times 99} = \frac{550}{2} = 275$$

finalment,

$$\text{CMRR}_T = 275 \parallel 31.623 = 272,63 = 48,71 \text{ dB}$$

$$V_{o\text{error}}|_{\text{CMRR}} = G_d \frac{V_{\text{mc}}}{\text{CMRR}}$$

falta calcular V_{mc} .

V_{mc} = tensió en mode comú present a les 2 entrades

$$\text{a } 50^\circ\text{C} \rightarrow V_{\text{mc}} = 10 \text{ mV} \times \frac{(273+50)^\circ\text{C}}{^\circ\text{C}} = 3,23 \text{ V}$$

$$V_{0\text{ error}}|_{\text{CMRR}} = 10 \cdot \frac{3,23\text{V}}{272,63} = 118,48\text{mV}.$$

i l'error final serà

$$V_{0\text{ error}} = \pm (0,775 + 118,48)\text{mV} = \pm 119,255\text{mV}$$



- d) Quin error obtindriem en la sortida en l'aparat c), si ademés de compensar l'offset, haguéssim ajustat el CMRR quan $T_A = T_B = 0^\circ\text{C}$.

Si hem ajustat el CMRR a 0°C , la tensió en mode comú serà més petita.

$$V_{\text{mc}}|_{50^\circ\text{C}} = 3,23\text{V} \quad \text{de l'aparat anterior}$$

$$V_{\text{mc}}|_{0^\circ\text{C}} = 10\text{mV}/^\circ\text{C} \times 273^\circ\text{C} = 2,73\text{V}.$$

$$\text{per tant, la nova } V_{\text{mc}} = 3,23 - 2,73 = 0,5\text{V}$$

$$\text{finalment, } V_{0\text{ error}}|_{\text{CMRR}} = 10 \cdot \frac{0,5}{272,63} = 18,34\text{mV}$$

$$V_{0\text{ error}} = \pm (18,34 + 0,775) = \pm 19,115\text{mV}$$

**E U V**

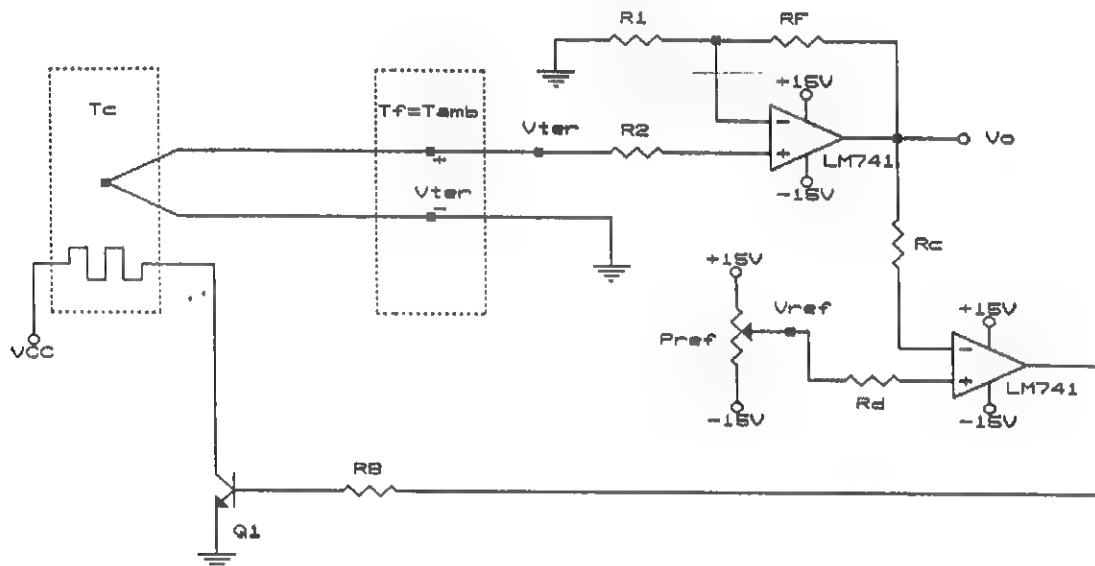
Estudis Universitaris de Vic
Escola Universitària Politècnica d'Osona
 Adscrita a la Universitat Politècnica de Catalunya
Enginyeria Tècnica de Telecomunicació
 especialitat en Sistemes de Telecomunicació

ADQUISICIÓ I DISTRIBUCIÓ DEL SENYAL

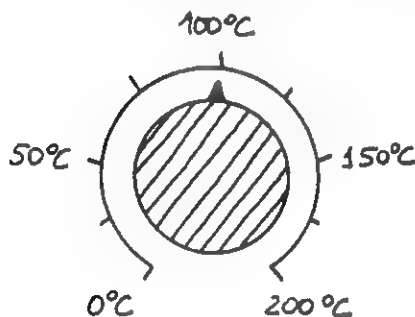
examen final, 1 de juliol de 1996

PROBLEMA 1 (3.5 punts)

El següent esquema correspon a un circuit de control de la temperatura d'un forn que s'ha dissenyat a partir d'un termoparell linealitzat. Aquest termoparell té una sensibilitat de $39\mu\text{V/K}$.
 $V_{\text{ter}} = 39\mu\text{V/K} \cdot [T_{\text{unió-calenta}}(\text{K}) - T_{\text{unió-freda}}(\text{K})]$ (NOTA: $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$).



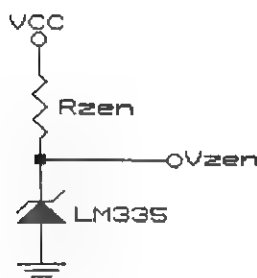
El control de la temperatura del forn es fa a través del potenciòmetre Pref. Per calibrar el circuit s'ha fixat la temperatura de la unió freda (T_F) a 0°C , i s'ha anat marcant la caràtula del potenciòmetre mesurant la temperatura del forn (T_C) amb un termòmetre de precisió ($T_{\text{mín}} = 0^\circ\text{C}$ i $T_{\text{màx}} = 200^\circ\text{C}$)



a) Dissenyeu R_1 , R_2 i R_F per obtenir $V_O = +5\text{V}$ quan $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = 0^\circ\text{C}$. (0.5p)

b) Calculeu V_O si $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$. Doneu l'error relatiu de V_O . (0.5p)

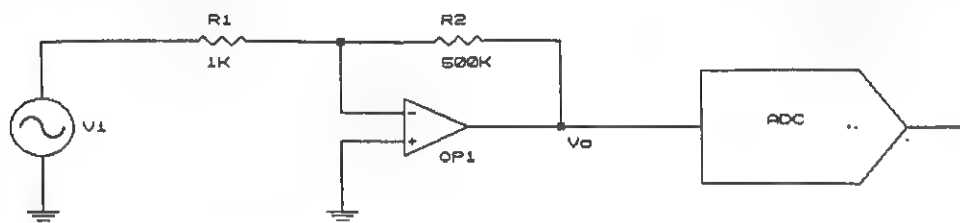
c) Quant valdrà V_{REF} si hem posicionat el mando del forn a 125°C , i la $T_{\text{amb}} = 28^\circ\text{C}$. A quina temperatura estarà el forn, i quin error relatiu estarem fent? (1p)



d) Dissenyeu un circuit, a partir del sensor monolític de temperatura LM335 (Sensibilitat = $10\text{mV}/^\circ\text{C}$, a partir de 0°C), que serveixi per compensar la temperatura de la unió freda. Verifiqueu el seu bon funcionament amb les dades de l'apartat anterior. (1.5p)

PROBLEMA 2 (3.5 punts)

S'ha dissenyat un amplificador per a un micròfon, de tal manera que es compleixi que $DR_{ADC} = SNR(V_o)$



Suposant que:

- * V_i és una ona sinusoidal de 10mVp d'amplitud màxima
- * el convertidor analògic/digital de 10bits és de tipus bipolar, amb $V_{FE} = \pm 5V$ i un error total no ajustat $e_{ina} = \pm 1LSB$
- * el circuit es comporta amb una resposta passa-baixes de 1r ordre en una banda de freqüències entre 0.01Hz i 20KHz
- * el circuit està funcionant a una temperatura de 27°C (300K):

a) Calculeu la relació senyal/soroll del senyal V_i que entra a l'amplificador. (3p)

b) Calculeu la relació senyal/soroll a la sortida del convertidor A/D. (0.5p)

Característiques de l'amplificador operacional: $f_{cv} = 200Hz$ $f_{cl} = 1KHz$ $Sv_n = 25nV/\sqrt{Hz}$
 $Si_n = 0.5pA/\sqrt{Hz}$ $K = 1.38 \cdot 10^{-23} J/K$

PROBLEMA 3 (3 punts)

Volem adquirir un senyal del qual sabem que la seva tensió estarà compresa entre 0 i 5V, i el seu Slew Rate màxim és $SR = 0.5V/\mu s$.

Suposant que tenim una família de convertidors A/D amb les característiques següents:

	bits	e_{ina}	t_c
ADC1	8	$\pm 1LSB$	20 μs
ADC2	10	"	30 μs
ADC3	12	"	40 μs
ADC4	14	"	50 μs

a) Si pretenem obtenir una resolució igual o superior a 1.5mV, quin convertidor haurem d'utilitzar? (0.5p)

b) Quin serà el marge dinàmic del convertidor? (0.5p)

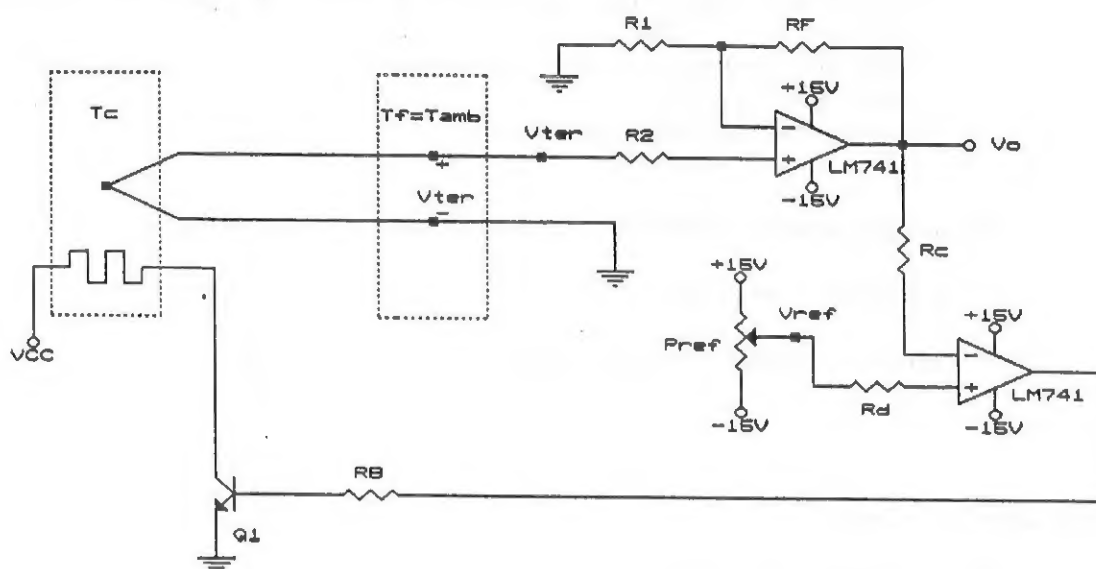
c) Farà falta inserir-hi un amplificador de mostreig i retenció? En cas afirmatiu, quin serà el màxim temps d'obertura que haurà de tenir, si volem que l'error degut a la variació del senyal d'entrada durant la conversió sigui inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

d) Suposant uns corrents totals de pèrdues de 10nA a través del S/H en estat de retenció, quina serà la mínima capacitat que haurà de tenir el condensador de retenció per tal de mantenir l'error degut a les fuites en mode de retenció inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

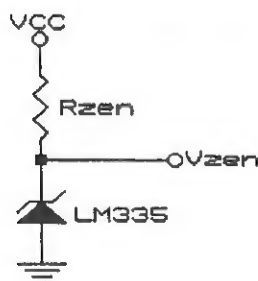
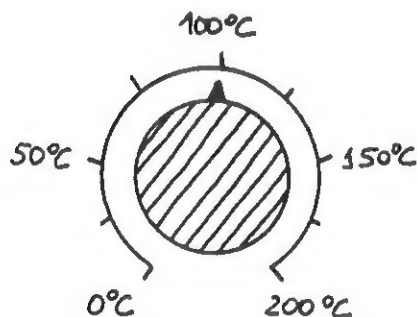
e) Suposant que el S/H tingui un temps d'adquisició $t_a = 1\mu s$ i un temps d'establiment $t_s = 0.5\mu s$, suposant que el temps d'adquisició de les dades per part del microprocessador sigui $t_{\mu p} = 4\mu s$, i suposant que el senyal d'entrada sigui sinusoidal pur, calculeu la màxima freqüència de mostreig per tal de complir totes les especificacions anteriors. (1p)

PROBLEMA 1 (3.5 punts)

El següent esquema correspon a un circuit de control de la temperatura d'un forn que s'ha dissenyat a partir d'un termoparell linealitzat. Aquest termoparell té una sensibilitat de $39\mu\text{V/K}$.
 $V_{\text{ter}} = 39\mu\text{V/K} \cdot [T_{\text{unió-calenta}}(\text{K}) - T_{\text{unió-freda}}(\text{K})]$ (NOTA: $\text{K} = ^\circ\text{C} + 273$).



El control de la temperatura del forn es fa a través del potenciòmetre Pref. Per calibrar el circuit s'ha fixat la temperatura de la unió freda (T_F) a 0°C , i s'ha anat marcant la caràtula del potenciòmetre mesurant la temperatura del forn (T_C) amb un termòmetre de precisió ($T_{\text{mín}} = 0^\circ\text{C}$ i $T_{\text{màx}} = 200^\circ\text{C}$)



a) Dissenyeu R_1 , R_2 i R_F per obtenir $V_O = +5\text{V}$ quan $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = 0^\circ\text{C}$. (0.5p)

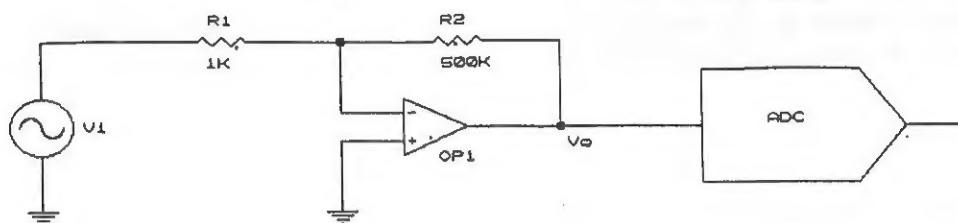
b) Calculeu V_O si $T_C = 200^\circ\text{C}$ i $T_F = T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$. Doneu l'error relatiu de V_O . (0.5p)

c) Quant valdrà V_{REF} si hem posicionat el mando del forn a 125°C , i la $T_{\text{amb}} = 28^\circ\text{C}$. A quina temperatura estarà el forn, i quin error relatiu estarem fent? (1p)

d) Dissenyeu un circuit, a partir del sensor monolític de temperatura LM335 (Sensibilitat = $10\text{mV}/^\circ\text{C}$, a partir de 0°C), que serveixi per compensar la temperatura de la unió freda. Verifiquen el seu bon funcionament amb les dades de l'apartat anterior. (1.5p)

PROBLEMA 2 (3.5 punts)

S'ha dissenyat un amplificador per a un micròfon, de tal manera que es compleixi que $DR_{ADC} = SNR(V_o)$



Suposant que:

- * V_i és una ona sinusoidal de 10mVp d'amplitud màxima
- * el convertidor analògic/digital de 10bits és de tipus bipolar, amb $V_{FE} = \pm 5V$ i un error total no ajustat $e_{tra} = \pm 1LSB$
- * el circuit es comporta amb una resposta passa-baixes de 1r ordre en una banda de freqüències entre 0.01Hz i 20KHz
- * el circuit està funcionant a una temperatura de 27°C (300K):

a) Calculeu la relació senyal/soroll del senyal V_i que entra a l'amplificador. (3p)

b) Calculeu la relació senyal/soroll a la sortida del convertidor A/D. (0.5p)

Característiques de l'amplificador operacional:

$$f_{cv} = 200Hz \quad f_{cl} = 1KHz$$

$$S_{in} = 0.5pA/\sqrt{Hz}$$

$$S_{v_n} = 25nV/\sqrt{Hz}$$

$$K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

PROBLEMA 3 (3 punts)

Volem adquirir un senyal del qual sabem que la seva tensió estarà compresa entre 0 i 5V, i el seu Slew Rate màxim és $SR = 0.5V/\mu s$.

Suposant que tenim una família de convertidors A/D amb les característiques següents:

	bits	e_{tra}	t_c
ADC1	8	$\pm 1LSB$	20 μs
ADC2	10	"	30 μs
ADC3	12	"	40 μs
ADC4	14	"	50 μs

a) Si pretenem obtenir una resolució igual o superior a 1.5mV, quin convertidor haurem d'utilitzar? (0.5p)

b) Quin serà el marge dinàmic del convertidor? (0.5p)

c) Farà falta inserir-hi un amplificador de mostreig i retenció? En cas afirmatiu, quin serà el màxim temps d'obertura que haurà de tenir, si volem que l'error degut a la variació del senyal d'entrada durant la conversió sigui inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

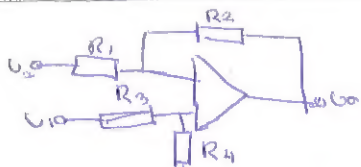
d) Suposant uns corrents totals de pèrdues de 10nA a través del S/H en estat de retenció, quina serà la mínima capacitat que haurà de tenir el condensador de retenció per tal de mantenir l'error degut a les fuites en mode de retenció inferior a l'error total del convertidor? (0.5p)

e) Suposant que el S/H tingui un temps d'adquisició $t_a = 1\mu s$ i un temps d'establiment $t_s = 0.5\mu s$, suposant que el temps d'adquisició de les dades per part del microprocessador sigui $t_{\mu p} = 4\mu s$, i suposant que el senyal d'entrada sigui sinusoidal pur, calculeu la màxima freqüència de mostreig per tal de complir totes les especificacions anteriors. (1p)

TEMA 1

$$H. d = \frac{N. S. Max}{Min N. Acep}$$

$$S/N = 20 \log \frac{U_{of} Se.}{U_{ef} So}$$

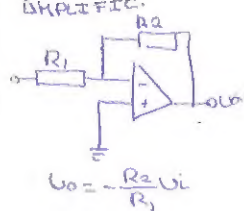


$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) U_1 = \frac{R_2 U_2}{R_1}$$

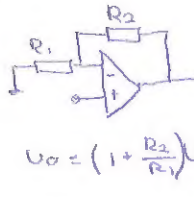
$$R_3 = R_1 \quad R_2 = R_4$$

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

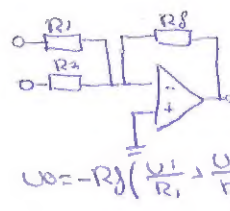
AMPLIFIC.



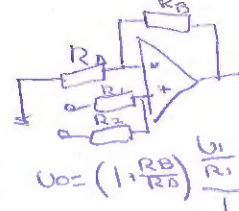
$$U_o = -\frac{R_2}{R_1} U_i$$



$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_i$$



$$U_o = -R_f \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right)$$



$$U_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

TEMA 2

$$e_a = U_{mes} - U_{neal}$$

$$e_r = \frac{e_a}{U_{neal}} \times 100$$

Potenciometru

$$U_2 = \frac{R_2 U_1}{R_1 + R_2}$$

Termo paralel

galga extensometrica

$$R = \frac{l}{A} \quad K = \frac{\Delta R}{\Delta l}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \Delta T = \frac{R \cdot I^2}{K}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \Delta T = \frac{R \cdot I^2}{K}$$

RTD: PTC

$$R_T = R_0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

RTD

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$C = \frac{K \Delta C_0 (F)}{cl}$$

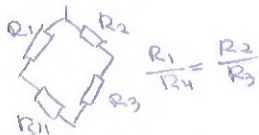
$$E = \alpha [T_1 - T_2] + \beta [T_1^2 - T_2^2]$$

Piezoelectric

$$K = \frac{E_m}{E_{ma}} = \frac{E_{el}}{E_{ma}}$$

$$K = \frac{E_{el}}{E_{ma}} \rightarrow \frac{E_m}{E_{ma}}$$

TEMA 3



$$\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$

$$U_o = G U_i + \left(1 + \frac{R_F}{R_P}\right) U_{o1} I_B + \frac{U_{o1} I_B}{R_F I_B}$$

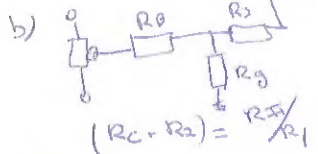
$$I_B = \frac{I_{B1} + I_{B2}}{2}$$

$$U_o = G U_i + \left(1 + \frac{R_F}{R_P}\right) U_o + R_F I_{o1}$$

$$I_{o1} = \frac{I_{B1} - I_{B2}}{2}$$

$$U_{o1} = \left[U_o \right]_{25^\circ C} + \frac{\Delta U_{o1}}{\Delta T} \Delta T + \frac{\Delta U_{o1}}{\Delta t} \Delta t + \frac{\Delta U_{o1}}{\Delta U_{cc}} \Delta U_{cc}$$

compensação de offset



$$(R_1 + R_2) = \frac{R_F}{R_1}$$

linearização de termistors

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

linearização do pont de Wheatston

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

CMRR

$$U_o = g_{mcc} U_{mcc} + g_d U_d$$

$$CMRR = \frac{g_d}{g_{mcc}}$$

$$g_d = \frac{U_o}{U_d} = \left[\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \right]$$

$$CMRR = \frac{1}{2} \frac{R_1 R_4 + R_2 R_3 + 2 R_1 R_2}{R_1 R_4 - R_2 R_3}$$

$$\frac{1}{CMRR} = \frac{1}{CMRR_0} + \frac{1}{CMRR_P}$$

$$S/N = \sqrt{\frac{U_n^2}{U_s^2} = \frac{\sigma_n^2}{\sigma_s^2}} \quad S_{in} = \frac{\sigma_n}{\sigma_s}$$

Soroll blanc

$$U_n = V_{nw} \sqrt{(f_H - f_L)}$$

$$I_n = I_{nw} \sqrt{(f_H - f_L)}$$

Soroll 1/f

$$U_n = K_V \sqrt{\ln \frac{f_H}{f_L}}$$

$$\pm n = K_L \sqrt{\ln \frac{f_H}{f_L}}$$

Soroll C-Integrat

$$U_n = V_{nw} \sqrt{\ln \frac{f_H}{f_L} + (f_H - f_L)}$$

$$I_n = I_{nw} \sqrt{\ln \frac{f_H}{f_L} + (f_H - f_L)}$$

shot noise

$$I_{ns} = \sqrt{2 q I_B}$$

soroll de contacte

$$I_g = \sqrt{\frac{2 q I_g c}{f}}$$

Soroll de OPAH

$$V_n = \left(\int_{f_L}^{f_H} S_{vn}(f) df \right)^{1/2}$$

$$I_n = \left(\int_{f_L}^{f_H} S_{in}(f) df \right)^{1/2}$$

$$S/N = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

$$S/N = 20 \log \frac{U_s}{U_n}$$

TEMA 4

$$V_n = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_n^2(t) dt}$$

$$I_n = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_n^2(t) dt}$$

$$V_C = \frac{U_{np}}{N_{rms}}$$

$$V_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2 U_1 U_2}$$

$$S/N = 10 \log \frac{P_s}{P_n} \text{ (dB)}$$

$$S/N = 20 \log \frac{U_s}{U_n} \text{ (dB)}$$

Soroll Termic

$$SNR = 4 K T R = S_{nr}$$

$$V_r = \sqrt{4 K T R}$$

THEMA 5

$$q = \frac{\pi}{2^n}$$

$$NEB = 1.57 \times f_c$$

$$NEB = 1.57 \times \frac{B^2}{f_c + f_n}$$

Teor de Nyq.

$$f_s = 2f_H$$

Par. de Nyq

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{2f_H}$$

$$MD = 10 \log \frac{U_{FE}}{U_N}$$

$$U_{NRMS} = \frac{m \cdot q}{\sqrt{12}}$$

$$2^n = N = \text{memb d'etats}$$

Sorroll de l'opacacanal

$$V_n = S V_n \left[(f_A - f_B) + f_c \ln \left(\frac{f_A}{f_B} \right) \right]^{1/2}$$

$$e_a = \frac{a}{2}$$

$$V_{NRMS} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i^2}{f_s}$$

$$F_s \Big|_{\max} = \frac{2}{t_{acc} + t_{ap} + t_{th}}$$

CDA

$$U_0 = K_V V_r R_i$$

$$U_0 = \underbrace{K_V V_r}_{V_{FE}} \cdot D = V_{FE} \sum_{l=1}^n b_l 2^{-l}$$

$$V_{FE} > U_{G\max} = V_{FE} (1 - 2^{-n}) = V_{FE} \frac{2^n - 1}{2^n}$$

$$U_{ng\text{rms}} = \frac{q}{\sqrt{12}}$$

$$-\frac{q}{2} < e_q \leq \frac{q}{2}$$

$$SR = \frac{V_{FE}/2^n}{T_0}$$

CAD

Errors als CAD

$$e_q = \pm \frac{q}{2}$$

$$e_t = e_q + e_{tn} \quad e_t = m e_q$$

$$V_{nt} = m \frac{q}{\sqrt{12}}$$

$$DR = 20 \log \frac{U_{FE}}{V_N}$$

$$V_{ng} = \frac{q}{\sqrt{12}}$$